ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΣΥΝΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΚΡΙΣΕΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

Κωνσταντίνος Κοασίδης

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διεπιστημονικό υπόδειγμα συνδιαμόρφωσης και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής σε περιόδους κρίσεων

Διδακτορική Διατριβή

Κωνσταντίνος Κοασίδης

Συμβουλευτική Επιτροπή: Χ. Δούκας, Καθηγητής Ε.Μ.Π. (επιβλέπων)

Ι. Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ. Ασκούνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την: 22η / Δεκεμβρίου / 2023

.....	.....	.....
Χάρης Δούκας	Ιωάννης Ψαρράς	Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.
.....	.....	.....
Ευάγγελος Μαρινάκης	Ιωάννης Γκόνος	Γεώργιος Τσιχριντζής
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ.

.....
Αλέξανδρος Φλάμος
Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023

.....

Κωνσταντίνος Κοασίδης

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Κοασίδης, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις μείζονες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες. Με σημείο καμπής τη Συμφωνία του Παρισιού, έθνη σε παγκόσμιο επίπεδο δεσμεύτηκαν για ταχεία μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, θέτοντας φιλόδοξους στόχους για τον σχεδιασμό οικονομιών μηδενικών εκπομπών. Εν μέσω ωστόσο αυτής της κλιματικής κρίσης και των προσπαθειών αντιμετώπισής της, δύο διαφορετικές κρίσεις ήρθαν να προστεθούν στις υφιστάμενες προκλήσεις και να αποσταθεροποιήσουν περαιτέρω τη διεθνή κοινότητα: πρώτα η πανδημία της COVID-19 και στη συνέχεια η ενεργειακή κρίση, ως αποτέλεσμα της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία. Αυτή η 'πολυκρίση', και το μείγμα προκλήσεων που τη συνοδεύει, κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη άμεσης λήψης αποφάσεων για την αντιμετώπιση των σοβαρών κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων που προκλήθηκαν. Σύντομα διαφάνηκε ότι παρά τις εκτεταμένες συζητήσεις για πράσινη ανάκαμψη, σημαντικά χρηματικά κεφάλαια έρρευσαν προς συμβατικές επενδύσεις ορυκτών καυσίμων, θέτοντας σε κίνδυνο τους κλιματικούς στόχους, με την επιστημονική κοινότητα υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής και τα υφιστάμενα επιστημονικά υποδείγματα να μην επιτυγχάνουν στην προσπάθεια παροχής έγκαιρης, ρεαλιστικής και συναφούς καθοδήγησης προς τη βιωσιμότητα υπό τα νέα δεδομένα των κρίσεων.

Σκοπός της διατριβής είναι η διαμόρφωση ενός νέου διεπιστημονικού υποδείγματος συνδιαμόρφωσης και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, ειδικά σχεδιασμένου ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις σύγχρονες ανάγκες της πολυκρίσης. Το υπόδειγμα αυτό αντλεί αρχικά από τη θεωρία μεταβάσεων και κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων προκειμένου να εισάγει μια συστημική προσέγγιση στον ρόλο των κρίσεων στις μεταβάσεις βιωσιμότητας. Στη συνέχεια, ενσωματώνει στην επιστημονική διαδικασία τα ενδιαφερόμενα μέρη, σε μια λογική συνδιαμόρφωσης προκειμένου να αντλήσει απόψεις γύρω από την υλοποίησης της μετάβασης ή/και προτεραιότητες. Τέλος, τα μηνύματα από τις παραπάνω διεργασίες μεταφέρονται στη διαδικασία μοντελοποίησης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, αυτή τη φορά όμως μέσα από μια διεπιστημονική σκοπιά, η οποία αίρει τους περιορισμούς στην επιστημονική διαδικασία που κατέδειξαν την περιορισμένη ικανότητα των υφιστάμενων υποδειγμάτων να υποστηρίξουν αποτελεσματικά κομβικές αποφάσεις.

Προτείνονται δύο νέες επεκτάσεις μεθοδολογιών της θεωρίας μεταβάσεων, αφενός η διασύνδεση του συστήματος καινοτομίας τομέων με τα συστημικά σφάλματα, και αφετέρου η ενισχυμένη διασύνδεση του τεχνολογικού συστήματος καινοτομίας με το μοντέλο πολυεπίπεδης ανάλυσης. Οι μεθοδολογίες αυτές χρησιμοποιούνται σε κοινωνικο-τεχνικές αναλύσεις που εστιάζουν στο ρόλο κρίσεων και πιέσεων σε τέσσερις ενεργειακούς τομείς σε εφτά χώρες. Οι αναλύσεις αυτές, πέρα από την ανίχνευση της διαμόρφωσης των δομικών χαρακτηριστικών των συστημάτων που επηρεάζουν τις μεταβάσεις βιωσιμότητας, καταδεικνύουν ότι ενώ οι κρίσεις δύνανται να δημιουργήσουν παράθυρα ευκαιρίας, αν αυτά δεν αξιοποιηθούν σωστά, συνήθως γίνονται αντικείμενο εκμετάλλευσης των κυρίαρχων δομών ενισχύοντας τον εγκλεισμό σε μονοπάτια εξαρτώμενα από τα ορυκτά καύσιμα.

Επίσης προτείνονται δύο νέες μεθοδολογίες επιχειρησιακής έρευνας, αφενός η 2-tuple Group TOPSIS για ομαδική λήψη αποφάσεων και εύρεση ομοφωνίας ανάμεσα σε πολλαπλούς αποφασίζοντες, και η Monte-Carlo Fuzzy Cognitive Mapping για ανάλυση της αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της συμμετοχής ενδιαφερόμενων μερών. Οι δύο μέθοδοι αξιοποιούνται για να εξαχθούν οι προτιμήσεις και απόψεις περισσότερων από 350 ανθρώπων από το ευρύ φάσμα ενδιαφερόμενων μερών στην κλιματική πολιτική, συμπεριλαμβανομένων συμμετεχόντων από αναπτυσσόμενες χώρες που είθισται να περιθωριοποιούνται σε τέτοιες διαδικασίες, με τη μορφή εργαστηρίων και ερευνών. Οι συμμετέχοντες αυτοί καταδεικνύουν την ανάγκη για ρεαλισμό των σεναρίων αναφοράς και ανανέωση των πρακτικών μοντελοποίησης που μέχρι στιγμής δεν οδηγούν πάντα σε αναλύσεις εναρμονισμένες με τις προτιμήσεις τους, ενώ υπό το πρίσμα κρίσεων δίνουν έμφαση σε ζητήματα που αφορούν την οικονομική ανάπτυξη παράλληλα με τη δημιουργία θέσεων εργασίας, καθώς και στην οικονομικά προσιτή ενέργεια.

Με γνώμονα τις παραπάνω πληροφορίες, πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις με τη χρήση ποσοτικών μοντέλων για την υποστήριξη αποφάσεων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, από την πλευρά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμόζεται μια μεθοδολογία που συνδυάζει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο αποτίμησης, με μια μεθοδολογία πολυστοχικού προγραμματισμού και μια εκτεταμένη βάση συντελεστών απασχολησιμότητας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κατανομή του πράσινου πακέτου ανάκαμψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από την COVID-19 σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών, ώστε να μεγιστοποιηθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στον ενεργειακό τομέα. Στη συνέχεια, από την πλευρά της ζήτησης ενέργειας και ως απάντηση στις αυξημένες τιμές, γίνεται η διασύνδεση ενός μοντέλου πρακτόρων για τον κτηριακό τομέα, με

έναν μηχανισμό επιβράβευσης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας, προκειμένου να κινητροποιηθούν νοικοκυριά στην Ελλάδα να υιοθετήσουν ενεργειακά βιώσιμες συνήθειες και να μειωθεί το ενεργειακό τους κόστος.

Τέλος εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν στην συνεισφορά τόσο των επιμέρους μεθοδολογιών, όσο και ευρύτερα στην ικανότητα του προτεινόμενου διεπιστημονικού υποδείγματος να συμβάλλει αποτελεσματικά στην υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής σε περιόδους κρίσεων και να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για μελλοντικές κρίσεις που ενδέχεται να εμφανιστούν στο μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: πολυκρίση, κρίση, COVID-19, ενεργειακή πολιτική, κλιματική πολιτική, συνδιαμόρφωση, κοινωνικοτεχνική ανάλυση, ομαδική λήψη αποφάσεων, ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης.

Abstract

Climate change constitutes one of the major threats that humanity must address in the coming decades. The Paris Agreement has been a cornerstone in this process, with nations around the world pledging for rapid greenhouse gas emissions reductions and setting ambitious net zero targets. While this climate crisis and the corresponding responses to it were unfolding, two additional crises emerged on top of the contemporary challenges, disrupting the current pathway: first, the COVID-19 pandemic, and then an energy crisis, following Russia's invasion of Ukraine. This 'polycrisis', and the mix of associated challenges, created an urgent need for immediately acting towards addressing the severe socioeconomic implications triggered. It soon became clear though that, despite extended discussions over notions for green recovery, significant financial flows were directed towards conventional fossil fuel-based investments, endangering climate targets. Meanwhile, the scientific community in the domain of energy and climate policy support, and the underlying frameworks employed, faced difficulties providing timely, realistic, and relevant guidance towards sustainability in the light of the current conditions created by the crises.

The aim of this dissertation is to establish a new transdisciplinary paradigm for co-creating and supporting decision making in energy and climate policy, tailored to the context of the 'polycrisis'. This paradigm initially draws from the theory of transitions and socio-technical analyses to introduce a systemic approach to the role of such crises in sustainability transitions. It then introduces stakeholders in the scientific process, in the essence of a co-creation approach, to allow them to express their perceptions regarding the implementation of the transition. Finally, the insights from these two steps are fed in the energy and climate policy modelling process, this time though through a transdisciplinary lens, addressing the limitations that led to the constrained ability of current paradigms to effectively support key decisions.

Two new novel adaptations of methodologies drawing from the theory of transitions are introduced, namely the integration of the sectoral innovation system with system failures, and a novel/reinforced integration of the multi-level perspective with the technological innovation system. These are then used in socio-technical analyses focusing on the role of crises and pressures on four energy sectors in seven countries. On top of shedding light on system structures and dynamics, the analyses highlight that, although the crises tend to provide windows of

opportunity, unless effectively navigated these can be exploited by current systems structures that threaten to strengthen lock-ins and fossil fuel-based path dependent trajectories.

Additionally, two new operational research methodologies are developed, namely 2-tuple Group TOPSIS for multi-criteria group decision making and consensus measuring, and Monte-Carlo Fuzzy Cognitive Mapping for uncertainty analysis during stakeholder-driven modelling. The two methods are employed to elicit the preferences and perceptions of more than 350 stakeholders, including participants from developing nations that are typically underrepresented in such exercises, based on a set of workshops and surveys. Participants highlight the need for realistic baseline scenarios, as well as model development and adaptations, since current frameworks fail to consistently deliver analyses harmonised with their needs; under the scope of the response to the crises, they also point towards aspects related to economic growth vis-à-vis employment gains on the one hand, and affordable and clean energy on the other.

Based on the insights from the previous steps, two modelling analyses are produced for supporting decision making at the European and national level. Specifically, focusing on the energy supply side and electricity generation, a methodology is used that employs an integrated assessment model, a multi-objective programming technique, and a detailed employment factors database, to optimise the allocation of the green COVID-19 recovery spending in the European Union towards maximising emissions reductions and new energy-sector jobs. Then, focusing on the demand side and as a response to the high energy prices, an agent-based model is integrated with a novel behavioural energy efficiency rewarding mechanism, towards incentivising Greek households to adopt sustainable habits and reduce their energy costs.

Finally, insights are extracted with regard not only to the added value of the proposed methodologies, but also to the transdisciplinary paradigm itself towards effectively supporting energy and climate policy decision making in periods of crises, discussing its future capacity to effectively respond to new crises that may emerge.

Keywords: polycrisis, crisis, COVID-19, energy policy, climate policy, co-creation, socio-technical analysis, group decision making, integrated assessment model.

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο διάστημα Οκτώβριος 2019 - Δεκέμβριος 2023. Μέρος της έρευνας που παρουσιάζεται στη διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών έργων του εργαστηρίου PARIS REINFORCE και ATOM που έλαβαν χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω του προγράμματος Horizon 2020 και του Ελληνικού Ιδρύματος Έρευνας & Καινοτομίας και της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Καινοτομίας, αντίστοιχα.

Πρώτα και κύρια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου Καθηγητή, και προσφάτως νεοεκλεγέντα δήμαρχο Αθηναίων, κ. Χάρη Δούκα για την εξαιρετική συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια, από τα αμφιθέατρα, στην προπτυχιακή και τώρα στη διδακτορική μου διατριβή. Η εμπιστοσύνη που έδειξε σε εμένα και τη δουλειά μας, ακόμα και σε περιόδους που η δική μου εμπιστοσύνη μπορεί να κλονιζόταν, αποτέλεσε ισχυρή κινητήρια δύναμη. Εντός του τόμου υπάρχουν χειροπιαστά και εκτεταμένα αποτυπώματα από συζητήσεις που πραγματοποιήσαμε ήδη από την πρώτη μου μέρα στο εργαστήριο, κάτι που προσδίδει ιδιαίτερη αξία στο μακροχρόνιο της συνεργασίας μας και με γεμίζει ευγνωμοσύνη. Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον διευθυντή του εργαστηρίου Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά για το συνεχές ενδιαφέρον, την καθοδήγηση και την ενθάρρυνση του να συνεχίσω το έργο μου. Εκείνο το πρώτο μάθημα που παρέδωσε και παρακολούθησα στα Συστήματα Αποφάσεων αποτέλεσε την αφετηρία της μελλοντικής μου πορείας, και είναι τιμή μου που μπορώ να συμμετέχω και εγώ πλέον στη διδασκαλία αυτού του μαθήματος, ώστε να έχω την ικανότητα να εμπνεύσω και άλλους φοιτητές. Ευχαριστίες οφείλω και στο έτερο μέλος της τριμελούς μου επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την εξίσου εξαίρετη συνεργασίας μας. Κομβική συνεισφορά στην υλοποίηση αυτής της διατριβής αποδίδεται και στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μαρινάκη τόσο πλέον με το ρόλο του ως καθηγητή όσο και προηγουμένως με το ρόλο του ως ενός εκ των επιστημονικών μου καθοδηγητών, ο οποίος με την καθημερινή του συνεισφορά συνέβαλλε ουσιαστικά στη διαμόρφωση της ερευνητικής μου πορείας. Είναι συγκινητικό, καθώς βλέπεις τον εαυτό σου να εξελίσσεται, να βλέπεις και ανθρώπους γύρω σου που έχεις σαν πρότυπα, να ανεβαίνουν και εκείνοι ακόμα περισσότερο. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Φλάμο που διέθεσε απλόχερα τους πόρους του εργαστηρίου Τεχνοοικονομικής Ενεργειακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς και το προσωπικό ενδιαφέρον που έδειξε για να υποστηρίξει την υλοποίηση της έρευνας μου. Τέλος, σημαντικό

ευχαριστώ οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής υποστήριξης και αξιολόγησης της διατριβής μου, τους Καθηγητές κ.κ. Ιωάννη Γκόνο και Γεώργιο Τσιχριντζή.

Εγκάρδια ευχαριστώ πηγαίνουν προς την οικογένεια μου, Βάσω, Πλούτωνα και Γιώργο, για την ανατροφή που μου παρείχαν, την καθημερινή συναισθηματική υποστήριξη τους, την ανοχή τους, αλλά και το ότι εκτός των άλλων κατάφεραν να κάνουν αυτό το ταξίδι λίγο πιο όμορφο μέσα από το χιούμορ τους. Η καθημερινή και χειροπιαστή εκπαίδευση που μου παρείχαν με ενέπνευσαν να προσπαθώ να έχω ως πυξίδα το συνολικό κοινωνικό καλό σε όλο μου το επιστημονικό ταξίδι. Μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους παιδικούς μου φίλους Βασίλη, Γιάννη και Γρηγόρη για τις πολλές αξέχαστες στιγμές, αλλά και όλες εκείνες και εκείνους τους φίλους μου οι οποίοι ήταν πάντοτε διακριτικά εκεί. Ειδική μνεία πρέπει να κάνω στους Νίκο και Μιχάλη, αφενός για την επαγγελματική τους ιδιότητα και την διόλου αμελητέα υποστήριξη που μου παρείχαν, αλλά κυρίως γιατί έχω την τιμή να θεωρώ στενούς οικογενειακούς μου φίλους δύο ανθρώπους που επαναπροσδιόρισαν τη λέξη ανιδιοτέλεια στο λεξιλόγιο μου.

Αν υπάρχει ένας άνθρωπος που μπορεί επάξια να τοποθετηθεί στο μεταίχμιο των επιστημονικών και οικογενειακών/φιλικών ευχαριστιών, αυτός είναι ο Διδάκτορας του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, Αλέξανδρος Νίκας. Η επιστημονική εκπαίδευση και καθοδήγηση που μου παρείχε, η εμπιστοσύνη στις ιδέες μου, και η γόνιμη και καλοπροαίρετη κριτική/συζήτηση με πήγαινε πάντοτε από ένα έως πολλά βήματα παραπέρα. Ταυτόχρονα το προσωπικό ενδιαφέρον που επέδειξε για μένα, τη ζωή μου, τις φιλοδοξίες και στόχους μου, και η ατέρμονη προσπάθεια του να αφιερώνει ατελείωτους πόρους για να με βοηθήσει—συχνά εις βάρος της δικής του επαγγελματικής και προσωπικής ισορροπίας—καταδεικνύει πως το γεγονός ότι συνέβαλλε τα μέγιστα στην υλοποίηση αυτής της διατριβής είναι μόλις ένα μέρος από τη συνολική του προσφορά. Μόνο χαρά και τιμή μπορώ να νιώσω από την συνεργασία μου με έναν άριστο επιστήμονα και άνθρωπο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους εξαιρετικούς συναδέλφους Γιώργο, Θέμη, Νατάσα και Τάσο, για την καταλυτική συνεισφορά στην υλοποίηση του έργου μου και όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Αποφάσεων και Διοίκησης για την συνεργασία μας ακόμα και στην δύσκολη περίοδο της πανδημίας, και που χωρίς το οικογενειακό κλίμα που διακατέχει τη σχέση μας θα ήταν απείρως πιο δύσκολη.

Κωνσταντίνος Κοασίδης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη 5
Abstract 9
Ευρετήριο Εικόνων (Extended Abstract) 17
Ευρετήριο Εικόνων 17
Ευρετήριο Πινάκων 21
Ευρετήριο ακρωνυμίων και αντιστοιχίας ορών 23
Extended Abstract 25
E1. Introduction 25
E2. IAM limitations through the 'polycrisis' lens and a transdisciplinary approach to crisis modelling 27
E3. The role of crises, pressures and disruptions in past transitions from a socio-technical perspective. 33
E4. Eliciting stakeholder viewpoints and co-creating preferences under crises through operational research 44
E5. Transdisciplinary modelling of energy and climate policy aspects during crises 57
E6. Concluding remark 67
ΕΝΟΤΗΤΑ Ι. ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ 75
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή 77
1.1 Σκοπός 77
1.2 Συμβολή Διατριβής 78
1.3 Δομή Διατριβής 82
Κεφάλαιο 2. Οι αδυναμίες των υφιστάμενων μοντέλων υπό το πρίσμα των προκλήσεων της «πολυκρίσης» και η ανάγκη για ένα νέο διεπιστημονικό υπόδειγμα υποστήριξης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής 89
2.1 Η σημερινή κατάσταση και η «πολυκρίση» 89
2.2 Επανεξέταση των περιορισμών των υφιστάμενων υποδειγμάτων υπό το πρίσμα της «πολυκρίσης» 91
2.3 Ένα νέο διεπιστημονικό υπόδειγμα μοντελοποίησης 95
2.4 Συμπέρασμα 99
ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙ. ΜΙΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ ΣΕ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΠΙΕΣΕΙΣ, ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΚΑΙ «ΠΑΡΑΘΥΡΑ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ» 103
Κεφάλαιο 3. Μεταβάσεις εν μέσω πιέσεων ενός τομέα υπό συρρίκνωση: Η περίπτωση του βιομηχανικού τομέα σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο 105

3.1 Εισαγωγή 105
3.2 Το εθνικό υπόβαθρο των δύο χωρών 107
3.3 Μεθοδολογία 112
3.4 Το βιομηχανικό SIS της Γερμανίας 118
3.5 Το βιομηχανικό SIS του Ηνωμένου Βασιλείου 127
3.6 Συγκριτική ανάλυση των δύο χωρών μέσω του συστήματος συστημικών σφαλμάτων 133
3.7 Συμπεράσματα 141
Κεφάλαιο 4. Μεταβάσεις εν μέσω πιέσεων ενός ισχυρού καθεστώτος ορυκτών καυσίμων: Η περίπτωση του τομέα μεταφορών σε Νορβηγία και Καναδά 155
4.1 Εισαγωγή 155
4.2 Το εθνικό υπόβαθρο των δύο χωρών 157
4.3 Το SIS μεταφορών της Νορβηγίας 164
4.4 Το SIS μεταφορών του Καναδά 175
4.5 Συγκριτική Ανάλυση των δύο χωρών μέσω του συστήματος συστημικών σφαλμάτων 185
4.6 Συμπεράσματα 193
Κεφάλαιο 5. Μετάβαση εν μέσω οικονομικής κρίσης: Η περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα 205
5.1 Εισαγωγή 205
5.2 Η χρήση του λιγνίτη και άλλων παραδοσιακών καυσίμων 206
5.3 Μεθοδολογία 212
5.4 Το ελληνικό καθεστώς και οι παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος 215
5.4.1 Η περίοδος πριν την οικονομική κρίση 215
5.4.2 Εξελίξεις κατά τη διάρκεια και μετά την ύφεση 222
5.5 Ανανεώσιμες και άλλες μορφές ενέργειας που διαταράσσουν το καθεστώς 228
5.6 Συζήτηση Αποτελεσμάτων 237
5.6.1 Χαρτογράφηση των εξελίξεων επί και πέραν των ορίων του MLP μονοπατιού 237
5.6.2 Το σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα του 2019 και η δίκαιη μετάβαση 240
5.6.3 Επιπτώσεις στη βιωσιμότητα 242
5.7 Συμπεράσματα 244
Κεφάλαιο 6. Μεταβάσεις εν μέσω ενεργειακών και ευρύτερων κρίσεων: Η περίπτωση του τομέα μεταφορών και η ανάπτυξη του τομέα των βιοκαυσίμων σε Βραζιλία και Αργεντινή 259
6.1 Εισαγωγή 259
6.2 Μέθοδοι και εργαλεία 261

6.3 Η μετάβαση χαμηλών εκπομπών του τομέα μεταφορών της Βραζιλίας από τη σκοπιά του MLP 266

6.4 Η μετάβαση χαμηλών εκπομπών του τομέα μεταφορών της Αργεντινής από τη σκοπιά του MLP 274

6.5 Η ανάπτυξη του TIS βιοκαυσίμων και στις δύο χώρες 281

6.6 Συμπεράσματα 291

ΕΝΟΤΗΤΑ III. ΣΥΝΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ 305

Κεφάλαιο 7. Η μέθοδος ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple group TOPSIS: εφαρμογές σε εργαστήριο στην Ευρώπη και σε παγκόσμια έρευνα 307

7.1 Εισαγωγή 307

7.2 Η χρήση μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης σε σχέση με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης 312

7.3 Εργαστήριο (Workshop) με τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών 320

7.4 Ανάγκη ανάλυσης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης από τη σκοπιά των ειδικών 322

7.4.1 Πλαίσιο: Συνεδρία για τα SDG, εναλλακτικές λύσεις και κριτήρια 322
7.4.2 Η μέθοδος ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple Group TOPSIS 325
7.4.3 Αποτελέσματα 331

7.5 Μια παγκόσμια έρευνα για ρηξικέλευθες (game-changing) καινοτομίες 340

7.6 Συζήτηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα 346

Κεφάλαιο 8. Απόψεις ενδιαφερόμενων μερών γύρω από την απανθρακοποίηση και τη βιωσιμότητα στην Κένυα 357

8.1 Εισαγωγή 357

8.2 Το περιβάλλον της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής της Κένυας 361

8.3 Μεθοδολογία 365

8.4 Αποτελέσματα 371

8.4.1 Αρχική ανάλυση σε επίπεδο τομέων 371
8.4.2 Ανάλυση σε επίπεδο SDG 375
8.4.3 Επανεξέταση της ανάλυσης σε επίπεδο τομέων 381
8.4.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων των δύο ερωτηματολογίων και του συνδυασμού τους 384

8.5 Συμπεράσματα 385

Κεφάλαιο 9. Η διασύνδεση προσομοιώσεων Monte-Carlo στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες: διαφορές απόψεων ειδικών στη βιωσιμότητα και ειδικών στη μοντελοποίηση ... 397

9.1 Εισαγωγή 397

9.2 Μεθοδολογία και εργαλεία 401

9.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες 401
9.2.2 Ενσωμάτωση προσομοιώσεων Monte Carlo στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες 403
9.2.3 Κατασκευή χαρτών, δεδομένα εισόδου και σχεδιασμός σεναρίων 405

9.3 Αποτελέσματα 411
9.3.1 Σενάριο βάσης χωρίς την επίδραση κρίσεων *411*
9.3.2 Διάδοση κρίσεων χωρίς αβεβαιότητα *413*
9.3.3 Διάδοση κρίσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας *418*
9.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα 423
ΕΝΟΤΗΤΑ IV. ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΡΙΣΕΩΝ 435
Κεφάλαιο 10. Σχεδιάζοντας μια πράσινη μετάβαση από την πανδημία COVID-19 στην Ευρώπη 437
10.1 Εισαγωγή 437
10.2 Μεθοδολογία και εργαλεία 440
10.2.1 Ευρωπαϊκό πακέτο πράσινης ανάκαμψης: προσδιορισμός διαθέσιμου κεφαλαίου και τεχνολογιών *441*
10.2.2 Σενάρια Αναφοράς και Ανάκαμψης *443*
10.2.3 Συντελεστές Απασχολησιμότητας *446*
10.2.4 Ανάλυση Χαρτοφυλακίου *448*
10.2.5 Ανάλυση ευρωστίας *449*
10.3 Αποτελέσματα 450
10.4 Συμπεράσματα 463
Κεφάλαιο 11. Κινητροποιώντας την υιοθέτηση ενεργειακά βιώσιμων συμπεριφορών σε ελληνικά νοικοκυριά έναντι της ενεργειακής κρίσης 471
11.1 Εισαγωγή 471
11.2 Τα μοντέλα ATOM και DREEM 478
11.2.1 Το ψηφιακό ενεργειακό νόμισμα ATOM *479*
11.2.2 Το μοντέλο DREEM *482*
11.2.3 Ολοκληρωμένη προσέγγιση διασύνδεσης *483*
11.3 Αξιολόγηση της νομισματοποίησης συμπεριφορών ως πολιτικής ενεργειακής διαχείρισης στον ελληνικό οικιακό τομέα 485
11.3.1 Ελληνικό Πλαίσιο *485*
11.3.2 Σχεδιασμός σεναρίων και δεδομένα εισόδου *486*
11.3.3 Αποτελέσματα *489*
11.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων 497
11.5 Συμπεράσματα 501
ΕΝΟΤΗΤΑ V. ΕΠΙΛΟΓΟΣ 511
Κεφάλαιο 12. Συμπεράσματα και προοπτικές 513
12.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων και τελικά συμπεράσματα 513
12.2 Προοπτικές 525
Παράρτημα Α: Λίστα Δημοσιεύσεων 529
Παράρτημα Β: Ανοιχτή Επιστήμη 537
Παράρτημα Γ: Χαρτογραφήσεις Κοινωνικοτεχνικών Αναλύσεων 541

Ευρετήριο Εικόνων (Extended Abstract)

Figure E.1. The proposed transdisciplinary framework 31
Figure E.2. Theoretical approach for the integration of the SIS and the system failure framework 34
Figure E.3. Conceptualisation of the integrated MLP-TIS methodological approach presented from the perspective of the transport sector and emphasis on biodiesel innovation. 35
Figure E.4. The MCFCM approach 47
Figure E.5. Stakeholder engagement process and development of scenario framework and research questions. 48
Figure E.6. Final Ranking and evaluations of the SDGs in the European workshop 50
Figure E.7. Impact of the crises on each SDG based on the MCFCM uncertainty simulation. 56
Figure E.8. Methodological approach on the optimal allocation of green recovery investments on low-carbon technologies. 59
Figure E.9. Energy CO2 emissions in the EU in the "where is the EU headed scenario" 60
Figure E.10. The three gaps in climate action, emissions and temperature increase based on the "where is the world headed" after COP26. 60
Figure E.11. Optimal green RRF subsidy portfolios in terms of further emissions cuts (horizontal axis) as well as long-term (vertical axis) and near-term (colour axis) employment gains in the EU 61
Figure E.12. Participation of each technology in the most robust (>20%) portfolios (subsidy) depending on the impact on emissions (left), employment by 2030 (centre), and employment by 2025 (right). 63
Figure E.13. Methodological approach for the soft-link of ATOM and DREEM for evaluating monetisation of behavioural energy efficiency as a policy mechanism. 64
Figure E.14. National energy savings as a result of the energy management intervention. 66
Figure E.15. Rate of the ATOM energy currency as a result of the energy management intervention at the national level. 66

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1. Δομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής 83
Εικόνα 2.1. Το προτεινόμενο διεπιστημονικό υπόδειγμα 96
Εικόνα 3.1. Κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας ανά φορέα ενέργειας σε α) Γερμανία, και β) το Ηνωμένο Βασίλειο 108
Εικόνα 3.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον παρασκευαστικό τομέα στη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο από το 1990 έως το 2018 109
Εικόνα 3.3. Μερίδια ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας (ΑΠΑ) στους τομείς της μεταποίησης και των υπηρεσιών στο Ηνωμένο Βασίλειο από το 1970 έως το 2016. 110
Εικόνα 3.4. Οικονομική δραστηριότητα και ένταση εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών στη Γερμανία (DE) και το Ηνωμένο Βασίλειο (UK) 112
Εικόνα 3.5. Θεωρητική προσέγγιση για την ενσωμάτωση του SIS και του πλαισίου συστημικών σφαλμάτων 116
Εικόνα 3.6. Μερίδια κατανάλωσης χάλυβα ανά τομέα στη Γερμανία το 2017 123

Εικόνα 3.7. Βιομηχανικό SIS για α) Γερμανία και β) Ηνωμένο Βασίλειο με τις κύριες πιθανές αιτίες συστημικών σφαλμάτων 134
Εικόνα 4.1. Συνοπτική Μεθοδολογική προσέγγιση με βάση το μοντέλο διασύνδεσης SIS-SF . 157
Εικόνα 4.2. Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά 159
Εικόνα 4.3. Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή ενέργειας στη Νορβηγία και τον Καναδά 159
Εικόνα 4.4. Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές ανά πηγή ενέργειας α) Νορβηγία, και β) Καναδά 160
Εικόνα 4.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά..... 161
Εικόνα 4.6. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις μεταφορές ανά υποτομέα σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά 162
Εικόνα 4.7. Μερίδια επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών στο εσωτερικό της Νορβηγία το 2018 170
Εικόνα 4.8. Μερίδια επιβατών δημόσιων μεταφορών και έσοδα από εισιτήρια το 2018 171
Εικόνα 4.9. Μερίδιο καυσίμων στα ιδιωτικά αυτοκίνητα το 2017 172
Εικόνα 4.10. Μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στη Νορβηγία 173
Εικόνα 5.1. Μέσες μηνιαίες εκπομπές SO2 (α), NOx (β) και σκόνης (γ) για το 2018 209
Εικόνα 5.2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (α), παραγωγή (β) και συνολική εγκατεστημένη ισχύς (γ) στην Ελλάδα, 1990-2017 217
Εικόνα 6.1. Μεθοδολογική προσέγγιση της ενοποίησης του MLP και του TIS για τον τομέα των μεταφορών με έμφαση στην καινοτομία βιοντίζελ. Πρωτότυπη διαμόρφωση με βάση Geels (2002); Markard and Truffer (2008) 265
Εικόνα 6.2. Κατανάλωσης ανά τύπο καυσίμου στις μεταφορές της Βραζιλίας κατά την περίοδο 1970-1990 267
Εικόνα 6.3. Κατανάλωση ενέργειας ανά α) τεχνολογία/καύσιμο, β) τομέα και γ) εκπομπές CO2 ανά τομέα στη Βραζιλία (εξαιρουμένων των AFOLU). Στο σχήμα 3γ ο πρωταρχικός άξονας αναφέρεται στις εκπομπές CO2 (έγχρωμες γραμμές) ανά τομέα και ο δευτερεύων άξονας στις συνολικές εκπομπές CO2 (πράσινη περιοχή) 269
Εικόνα 6.4. Εκπομπές CO2 από τις μεταφορές σε σύγκριση με την κατανάλωση ενέργειας από τα καύσιμα και στη Βραζιλία. Ο κύριος άξονας αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας (πράσινες περιοχές) και ο δευτερεύων άξονας στις εκπομπές (κόκκινη γραμμή) 270
Εικόνα 6.5. Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Αργεντινή 1990-2018 276
Εικόνα 6.6. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα α) και εκπομπές CO2 ανά τομέα β) στην Αργεντινή. Στο σχήμα 6α ο πρωτεύων άξονας αναφέρεται στις καταναλώσεις ενέργειας ανά τομέα (έγχρωμες γραμμές) και ο δευτερεύων άξονας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας (μπλε περιοχή). Στο σχήμα 6β ο πρωτεύων άξονας αναφέρεται στις εκπομπές CO2 ανά τομέα (έγχρωμες γραμμές) και ο δευτερεύων άξονας στις συνολικές εκπομπές CO2 (μπλε περιοχή) 277
Εικόνα 6.7. Εκπομπές CO2 από τις μεταφορές σε σύγκριση με την κατανάλωση ενέργειας από τα καύσιμα στις μεταφορές στην Αργεντινή. Ο κύριος άξονας αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας (πράσινες περιοχές) και ο δευτερεύων άξονας στις εκπομπές (κόκκινη γραμμή). 278
Εικόνα 6.8. Μερίδιο βιοντίζελ στο μείγμα ντίζελ της Αργεντινής και της Βραζιλίας την περίοδο 2009-2018 285
Εικόνα 6.9. Παραγωγή και κατανάλωση βιοντίζελ στη Βραζιλία και την Αργεντινή 287

Εικόνα 6.10. Παραγωγή και κατανάλωση αιθανόλης στη Βραζιλία (πρωτεύων άξονας) και την Αργεντινή (δευτερεύων άξονας). 288
Εικόνα 7.1. Ο αριθμός των εργασιών που χρησιμοποιούν κάθε μέθοδο MCDA με αποσύνθεση των μεθόδων που χρησιμοποιούν ασαφή λογική. 313
Εικόνα 7.2. Αριθμός εργασιών που τα SDG συμμετέχουν ως κριτήρια σε MCDA αναλύσεις ... 316
Εικόνα 7.3. Αριθμός μελετών MCDA που εξετάζουν τα SDG ως τομέα εστίασης 318
Εικόνα 7.4. Αριθμός μελετών MCDA που αξιολογούν τα SDG ως εναλλακτικές 319
Εικόνα 7.5. Διαδικασία εμπλοκής των ενδιαφερόμενων μερών και συνδιαμόρφωσης σεναρίων και ερευνητικών ερωτημάτων 321
Εικόνα 7.6. Κατανομή των ομάδων ενδιαφερομένων με βάση το επαγγελματικό τους υπόβαθρο. 323
Εικόνα 7.7. Η κατανομή της χρήσης κάθε όρου της γλωσσικής κλίμακας σε απόλυτους αριθμούς 332
Εικόνα 7.8. Αποτελέσματα ατομικών λύσεων μετά τον πρώτο γύρο της 2-tuple TOPSIS για την ένταση των βαθμολογιών κάθε SDG (α) στο σύνολο των συμμετεχόντων, και (β) ανά ομάδα. 333
Εικόνα 7.9. Αξιολογήσεις των SDG από εκπροσώπους των εθνικών κυβερνήσεων 335
Εικόνα 7.10. Τελική κατάταξη και αξιολογήσεις των SDG 336
Εικόνα 7.11. Ιεράρχηση προτεραιοτήτων ανεξάρτητα για κάθε ομάδα ενδιαφερομένων 338
Εικόνα 7.12. Επίπεδο ομοφωνίας ομάδας και εσωτερικό επίπεδο ομοφωνίας 340
Εικόνα 7.13. Βαθμολογίες TOPSIS και ομοφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων για (α) CTIs και (β) ODIs 345
Εικόνα 8.1 Ενσωμάτωση των δύο ασκήσεων MCDA 370
Εικόνα 8.2. Προτεραιοποίση της απανθρακοποίησης τομέων με βάση (α) το σύνολο των συμμετεχόντων, (β) την ακαδημαϊκή κοινότητα, (γ) τον ιδιωτικό τομέα/τη βιομηχανία, (δ) τις εθνικές κυβερνήσεις, (ε) άλλους και (στ) το ποσοστό συμφωνίας κάθε λύσης. Ο κάθετος άξονας αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα. 372
Εικόνα 8.3. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε τομέα στην αρχική ανάλυση 374
Εικόνα 8.4. Προτεραιοποίηση των SDG στην Κένυα. Ο κάθετος άξονας (α) αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα. 377
Εικόνα 8.5. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε SDG 380
Εικόνα 8.6. Προτεραιοποίηση (α) της συναίνεσης (β) των τομέων με βάση τις δύο προσεγγίσεις ως προς τα βάρη. Ο κάθετος άξονας (α) αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα. 382
Εικόνα 8.7. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε τομέα με βάση την τελική ανάλυση 383
Εικόνα 9.1. Τυπική δομή ενός FCM. Το παράδειγμα περιλαμβάνει έναν χάρτη πέντε κόμβων (C1-C5), διασυνδεδεμένων με ακμές/βάρη (π.χ. $W13$) που ενεργοποιείται από ένα σήμα $A1(0)$ στον κόμβο C1 (κόμβος εισόδου). Η διάδοση του σήματος επαναλαμβάνεται με βάση την Εξ. 9.1, έως ότου συγκλίνουν οι τιμές όλων των κόμβων (δηλαδή, φτάνουν σε σταθερή κατάσταση). 402
Εικόνα 9.2. Η προτεινόμενη μέθοδος Monte Carlo Fuzzy Cognitive Mapping (MCFCM) 405
Εικόνα 9.3. Η τοπολογία FCM αποτελεί τον κορμό των τεσσάρων χαρτών. Η σύνδεση κάθε SDG με το λογότυπο των «Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης» χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο για να υπονοήσει ότι όλα τα SDG είναι σε θεωρητικό επίπεδο διασυνδεδεμένα (η ακριβής διασύνδεση καθορίζεται από τις δύο ομάδες συμμετεχόντων). 409

Εικόνα 9.4. Σημασία κάθε SDG με βάση της σχέσεις αιτιότητας στο σενάριο βάσης «καμία κρίση». 413
Εικόνα 9.5. Ο αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης» ως διαφορά σε σύγκριση με το σενάριο βάσης (%) σε κάθε χάρτη. 415
Εικόνα 9.6. Ο αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης» ως απόλυτες βαθμολογίες ανά κρίση σε κάθε χάρτη. 417
Εικόνα 9.7. Αντίκτυπος των κρίσεων στο SDG13 στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης». 418
Εικόνα 9.8. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα», λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αβεβαιότητα στο επίπεδο κρίσης (είσοδος). 420
Εικόνα 9.9. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα» λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αβεβαιότητα της στάθμισης των διασυνδέσεων (βάρη). 421
Εικόνα 9.10. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα», λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα την αβεβαιότητα στα βάρη και την είσοδο. 423
Εικόνα 10.1. Μεθοδολογική προσέγγιση διασύνδεσης των GCAM, AUGMECON-R, βάσης συντελεστών απασχολησιμότητας, και της προσομοίωσης Monte Carlo για την ανάλυση των σεναρίων ανάκαμψης 441
Εικόνα 10.2. Εκπομπές CO2 του τομέα ενέργειας στην ΕΕ στο σενάριο αναφοράς «Που βαδίζει η Ευρώπη 444
Εικόνα 10.3. Τα τρία κενά στην κλιματική δράση, και οι εκπομπές και η θερμοκρασιακή αύξηση με βάση το σενάριο «που βαδίζει ο κόσμος» μετά τις ανακοινώσεις του COP26 στη Γλασκώβη. 445
Εικόνα 10.4. Επίδοση βέλτιστων χαρτοφυλάκων επιδοτήσεων από το πράσινο RRF στην πρόσθετη μείωση εκπομπών (άξονας x) και στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (άξονας y) για (α) βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στις θέσεις εργασίας το 2025; και (β) βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στις θέσεις εργασίας μέχρι το 2030. Το μέγεθος κάθε βούλας υποδηλώνει το βαθμό ευρωστίας απέναντι στις αβεβαιότητες. 452
Εικόνα 10.5. Κατανομή των διαθέσιμων κεφαλαίων με βάση τις προτεραιότητες πολιτικής (στήλες) στα δύο διαφορετικά διστοχικά προβλήματα (γραμμές). 453
Εικόνα 10.6. Απόδοση των επιδοτήσεων στις 8 τεχνολογίες, αναφορικά με την μείωση εκπομπών (αριστερά), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2030 (κέντρο), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 (δεξιά). 455
Εικόνα 10.7. Απόδοση βέλτιστων χαρτοφυλακίων επενδύσεων από το πράσινο RRF στη μείωση εκπομπών (οριζόντιος άξονας) όπως επίσης και στη μακροπρόθεσμη (κάθετος άξονας) και βραχυπρόθεσμη (χρωματικός άξονας) αύξηση της απασχολησιμότητας στην ΕΕ, δίνοντας έμφαση στα χαρτοφυλάκια που εμφανίζονται σε πάνω από (α) 1%, (β) 10%, (γ) 20%, και (δ) 30% των επαναλήψεων. Το μέγεθος κάθε βούλας υποδηλώνει το βαθμό ευρωστίας απέναντι στις αβεβαιότητες. 457
Εικόνα 10.8. Συμμετοχή κάθε τεχνολογίας στα πιο εύρωστα χαρτοφυλάκια (>20%) με βάση την απόδοση τους στη μείωση εκπομπών (αριστερά), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2030 (κέντρο), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 (δεξιά) 458
Εικόνα 10.9. Κατανομή των νέων θέσεων εργασίας ανά τομέα (πάνω) και ανά τεχνολογία/καύσιμο (κάτω) στο χαρτοφυλάκιο με τη μεγαλύτερη ευρωστία (30%) 461
Εικόνα 10.10. Ανάλυση και βελτιστοποίηση πακέτων ανάκαμψης από την COVID-19 με τη χρήση πολλαπλών μοντέλων, και εκτίμηση της επίδρασης αν διοχετεύονταν σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. 462

Εικόνα 11.1. Μεθοδολογία προσομοίωσης νομισματοποίησης συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω δράσεων διαχείρισης ενέργειας. 479
Εικόνα 11.2. Παράδειγμα του μηχανισμού παραγωγής οικονομικού κέρδους του ATOM για δράσεις μετατόπιση φορτίου. 481
Εικόνα 11.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης (α) σεναρίου κατανάλωσης ενέργειας BAU και (β) εξοικονόμησης στο σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας και για τα τέσσερα νοικοκυριά. 490
Εικόνα 11.4. Αναγωγή Σεναρίου Εξοικονόμησης Ενέργειας σε εθνικό επίπεδο. 492
Εικόνα 11.5. Ισοτιμία του ενεργειακού νομίσματος ATOM μετά την αναγωγή των αποτελεσμάτων του DREEM σε εθνικό επίπεδο. 493
Εικόνα 11.6. α) Ημερήσιες και β) Εβδομαδιαίες διακυμάνσεις των σεναρίων BAU και εξοικονόμησης ενέργειας και επιπτώσεις στη συναλλαγματική ισοτιμία και στα κέρδη 496

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3.1. Βιομηχανικό SIS για α) Γερμανία και β) Ηνωμένο Βασίλειο με τις κύριες πιθανές αιτίες συστημικών σφαλμάτων 134
Πίνακας 4.1. Βασικά αποτελέσματα από τη συγκριτική ανάλυση με βάση τα μπλοκ SF 186
Πίνακας 5.1. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής λιγνιτικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής και εξωτερικό κόστος 206
Πίνακας 5.2. Μέσες μηνιαίες εκπομπές ανά σταθμό ηλεκτροπαραγωγής 208
Πίνακας 5.3. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ντίζελ και εξωτερικό κόστος 210
Πίνακας 5.4. Θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ντίζελ 210
Πίνακας 5.5. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου και εξωτερικό κόστος 211
Πίνακας 5.6. Θέσεις εργασίας που δημιουργήθηκαν από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο 211
Πίνακας 5.7. Προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας (2009-2017) 224
Πίνακας 5.8. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής αιολικής ενέργειας και εξωτερικό κόστος 230
Πίνακας 5.9. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής φωτοβολταϊκών και εξωτερικό κόστος 232
Πίνακας 5.10. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και εξωτερικό κόστος 233
Πίνακας 5.11. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής υδροηλεκτρικής ενέργειας και εξωτερικό κόστος 235
Πίνακας 6.1. Βασικές λειτουργίες του συστήματος TIS σύμφωνα με τους Hekkert et al. (2007) 262
Πίνακας 7.1. Πρόσφατες μελέτες μοντελοποίησης που συζητούν τις επιπτώσεις στους SDG από τις πολιτικές μετριασμού 308
Πίνακας 7.2. Μελέτες MCDA σχετικά με ή γύρω από τους SDG, συμπεριλαμβανομένης της συμμετοχής των ενδιαφερόμενων μερών 314
Πίνακας 7.3. Μελέτες MCDA σχετικά με τα SDG με ονομαστική έμφαση στη δράση για το κλίμα 317
Πίνακας 7.4. Εναλλακτικές λύσεις, κριτήρια αξιολόγησης και ερωτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε) 324

Πίνακας 7.5. Συλλογική κατάταξη των SDG από την ομάδα ενδιαφερόμενων μερών με βάση τα 2-tuple αποτελέσματα 335
Πίνακας 7.6. Κατάλογος βασικών GCI τεχνολογιών και άλλων ανατρεπτικών καινοτομιών.. 341
Πίνακας 8.1. Εναλλακτικές, κριτήρια (ερωτήσεις) και γλωσσική κλίμακα ερωτηματολογίου σχετικά με το ερωτηματολόγιο για την προτεραιοποίηση τομέων στην Κένυα (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε) 367
Πίνακας 8.2. Εναλλακτικές, κριτήρια και γλωσσική κλίμακα ερωτηματολογίου σχετικά με την προτεραιοποίηση SDG στην Κένυα (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε) 368
Πίνακας 9.1. Βιβλιογραφία FCM στον τομέα της ενέργειας-κλίματος-περιβάλλοντος-βιωσιμότητας 398
Πίνακας 9.2. Σχέση μεταξύ των «κόμβων κρίσης» εισόδου και των SDG. 408
Πίνακας 10.1. Συντελεστές απασχολησιμότητας το 2025 447
Πίνακας 11.1. Πρόσφατη βιβλιογραφία σχετικά με τη συμπεριφορική ενεργειακή απόδοση . 474
Πίνακας 11.2. Στατιστικές παραδοχές για τις τέσσερις βασικές παραμέτρους. 486
Πίνακας 11.3. Παραδοχές για τις τέσσερις τυπολογίες αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση 487

Ευρετήριο ακρωνυμίων και αντιστοιχίας ορών

Συντομογραφία	Αγγλικός Όρος	Ελληνικός Όρος
ABM	Agent-based Model	Μοντέλο πρακτόρων
BAT	Best Available Techniques	Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές
BAU	Business-as-usual	Σενάριο Αναφοράς
BECCS	Bioenergy Carbon Capture Storage	Βιοενέργεια με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα
CCS	Carbon Capture Storage	Τεχνολογία Δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα
CSP	Concentrated Solar Panels	Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα
CTI	Core Technological Innovations	Βασικές τεχνολογικές καινοτομίες
DAC	Direct Air Capture	Τεχνολογία απευθείας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα
E&A	Research & Development	Έρευνα & Ανάπτυξη
EC	European Commission	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
EE	European Union	Ευρωπαϊκή Ένωση
EED	Energy Efficiency Directive	Οδηγία για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα
EGD	European Green Deal	Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία
ESR	Effort Sharing Regulation	Κανονισμός της ΕΕ για τον επιμερισμό των προσπαθειών
EV	Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα
FCM	Fuzzy Cognitive Map	Ασαφής Γνωστικός Χάρτης
FIT	Feed-in-tariffs	Μοντέλο σταθερών εγγυημένων τιμών
GCI	Game-changing innovations	Ρηξικέλευθες καινοτομίες
GDM	Group Decision Making	Ομαδική Λήψη Αποφάσεων
GHG	Greenhouse Gas Emissions	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου
IAM	Integrated Assessment Model	Ολοκληρωμένο Μοντέλο Αποτίμησης
IDE	Industrial Emissions Directive	Οδηγία για τις Βιομηχανικές Εκπομπές
IEA	International Energy Agency	Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας
IMF	International Monetary Fund	Διεθνές Νομισματικό Ταμείο

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή
LCA	Life Cycle Assessment	Ανάλυση κύκλου ζωής
MC	Monte Carlo	Προσομοίωση Μόντε Κάρλο
MCDA	Multi-criteria Decision Aid	Πολυκριτήρια Υποστήριξη Αποφάσεων
MLP	Multi-level Perspective	Μοντέλο Πολυεπίπεδης Ανάλυσης
NDC	Nationally Determined Contributions	Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές
NET	Negative Emission Technology	Τεχνολογία Αρνητικών Εκπομπών
NGEU	Next Generation EU	-
ODI	Other disruptive innovations	Πρόσθετες καινοτομίες (συμπεριφορικές ή προσανατολισμένες στη ζήτηση)
OHE	United Nations	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
PV	Photovoltaics	Φωτοβολταϊκά
RRF	Recovery and Resilience Facility	Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας
SDG	Sustainable Development Goals	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
SIS	Sectoral Innovation System	Τομεακό Σύστημα Καινοτομίας
SSA	Sub-Saharan Africa	Υποσαχάρια Αφρική
TIS	Technological Innovation System	Τεχνολογικό Σύστημα Καινοτομίας
ΑΕΠ	Gross Domestic Product	Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν
ΑΠΕ	Renewable Energy Sources	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
EU-ETS	EU emissions trading system	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ
ΕΣΕΚ-NECP	National Energy and Climate Plan	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Extended Abstract

E1. Introduction

The climate crisis is undoubtedly one of the greatest challenges humanity must face in the coming decades. In terms of climate action, significant progress has been achieved in recent years, bringing the estimated results of existing policies and pledges recently pursued closer to achieving the goals of the Paris Agreement. A significant part of this progress can be attributed to modern scientific paradigms supporting energy and climate policy decisions. These are mainly based on energy-climate-economy models such as integrated assessment models (IAMs), which constitute the foundation of major scientific assessments and landmark policy processes, and which have guided decision-making through the development of sustainable pathways capable of achieving the long-term goals set by international climate diplomacy. Representing human-earth interactions, such models are used to calculate cost-optimal pathways based on a set of assumptions (altogether comprising what modellers call 'scenarios') to achieve long-term climate targets, like the Paris Agreement, aiming to limit global warming to well below 2°C, and preferably to 1.5°C.

However, the world is not yet on track to achieve the goals set by the Paris Agreement. Climate policies as of 2020, if fully implemented, would have likely put the world on track to 2.3-2.9°C (Sognnaes et al., 2021), while net-zero pledges and the Nationally Determined Contributions (NDCs) appeared to be able to put the 2°C target within grasp (Hausfather and Moore, 2022; Meinshausen et al., 2022; Höhne et al., 2021; Sognnaes et al., 2021), which still though highlighted gaps from Paris-compliant targets (Baptista et al., 2022), and especially the 1.5°C target. This indicates that current policies up to 2030 need to be implemented fast to align with NDC targets, while ensuring that net-zero pledges are actively pursued by raising ambition to close said gaps, since, despite the progress made, the path to achieving these goals poses significant difficulties in implementation and requires unprecedented speed in implementing climate change mitigation actions.

In an unexpected turn of events however, the recent erosion of successive and entangled crises, termed as a 'polycrisis (Tooze, 2021), posed significant difficulties and has further complicated the fight against the climate crisis, a battle that was already challenging even in the absence of these additional disruptions. First the COVID-19 pandemic and the response to it through restrictions and lock-downs in an effort to reduce the spread of the disease, and then the geopolitical turbulences as a result of Russia's invasion of Ukraine, led to extensive socioeconomic and supply-chain

shocks, roiled the geopolitics of energy by fostering an energy crisis, and sparked fears over the looming economic recession as well as concerns that such crises could be the new norm. The combination of crises contributed to societal disruptions, led to job losses, and burdened economies and citizens, who saw skyrocketing inflation and soaring energy prices.

Climate action has not been unaffected by these recent developments. Despite policy promises to "build back better", immediate financial recovery packages and instruments aiming to alleviate the socioeconomic impact from the pandemic were largely directed to conventional investments without climate-related criteria and in some cases even heading towards fossil fuel investments, while efforts for a green recovery were neither the norm nor the majority of these packages despite the relevant rhetoric (Nahm et al., 2022). At the same time, as a result of the energy crisis and high gas prices, a paradox emerged, when investments in different types of fossil fuels were encouraged and prioritised, such as liquefied natural gas to substitute conventional natural gas or a return to coal, increasing the risk of creating future stranded assets and establishing lock-in mechanisms that could threaten sustainability efforts. Consequently, emissions that had been curved as a result of the crises also saw a quick rebound (Jackson et al., 2022).

As such, despite the burden on the shoulders of the IAM community to respond to these crises and bring forth the climate agenda in a world of different development priorities, the failure to avoid said discrepancies (e.g., rebounds, fossil fuel investments) and recent developments came to reveal weaknesses in the existing scientific paradigms in support of energy and climate policy decisions revolving around quantitative systems models. That is because the community seemingly failed to contribute significantly to the public debate, with policy decisions taken faster than—or in directions opposite to prescriptions from—critical scientific guidance. Later in this extended abstract I argue that these weaknesses can be summarised through the terms "timeliness, realism, and relevance", with many analyses employing models carried out with considerable delay, testing working hypotheses in an everchanging environment that soon rendered them outdated and/or invalid, and often addressing questions that did not adequately represent the needs of society.

In this context, the purpose of this thesis was to answer the relevant question of "*how can we effectively support energy and climate policy decisions using energy-climate-economy models in times of crises?".* To answer this question, I proposed and formulated a new paradigm for supporting energy and climate policy decisions, based on a multi-stage process of transdisciplinary

modelling, which was adapted to the contemporary challenges of the overlapping shocks and crises of different origin and intensity. In particular, the paradigm incorporates knowledge from social science methodologies, involves stakeholders in the process, before finally leading to modelling key questions in the context of the recent crises, addressing weaknesses of existing paradigms.

E2. IAM limitations through the 'polycrisis' lens and a transdisciplinary approach to crisis modelling

The role of IAMs has been contested and their limitations discussed in the past, with the literature already formulating criticisms and perspectives to address them (Ackerman et al., 2009). Among these general discussions of IAM caveats, two emerge with relevant implications in the context of crises: first, the oversimplified social system representation in IAMs—which do not pay attention to inertia, temporalities, actors, institutions, or norms—and the calls for incorporating insights from sociotechnical transitions theory (Geels et al., 2016); and, second, the limited societal relevance of IAM exercises—which fail to reflect desirability, legitimacy, inclusion, and learning—and the calls for transdisciplinary integration of insights from non-scientific bodies of knowledge (Galende-Sánchez and Sorman, 2021; Doukas and Nikas, 2021). I revisit both arguments, this time through a 'polycrisis' lens, also based on early literature initiatives and the bottlenecks faced when modelling the crises and discuss how their added value could enhance model-derived policy prescriptions, drawing from recent and ongoing crises, before introducing the transdisciplinary paradigm for crisis modelling.

A critical sociotechnical dimension that remains highly underrepresented in state-of-the-art modelling lies in the way opportunities for change come about. A common notion within transition theory literature is the 'window of opportunity': opportunities created by shocks from the broader landscape, potentially destabilising dominant structures and triggering/facilitating transitions (Geels and Schot, 2007). For instance, today's energy crisis has arguably disrupted the dominance of the fossil-fuel regime, creating such a window to accelerate green transitions and address increased fuel prices. However, despite the intuitive understanding that crises may create opportunities for inherently positive change (e.g., 'build-back-better' narratives in the case of COVID-19), there is no insurance that a 'window of opportunity' will be exploited to successfully disrupt current fossil-fuel regimes. Without robust scientific guidance to underpin policy and market

decisions, 'windows of opportunity' may instead be abused by system structures to reinforce their dominance and reproduce 'business-as-usual' processes.

This discourse is missing from IAM practice: in the absence of institutions' and actors' behaviours within modelled systems, such 'windows of opportunity' can only be explicitly prescribed in the form of socioeconomic/technological assumptions (IAM inputs), rather than emerge in modelled trajectories (IAM outputs). Even if such windows were invented as a starting point of IAM exercises, their real-life under-/exploitation would depend on several factors (e.g., political choices) more than it would on simulated cost-effectiveness—meaning that a 'window of opportunity' is more than changes in, e.g., technology costs. This further points to IAMs allowing to capture a limited set of mitigation-relevant real-world processes, without enabling to understand the full extent to which climate action performs under crises, thus undermining their usefulness as a policy support tool within this context.

In the pandemic, for example, early IAM studies made a case for green recovery; instead, reinforced activity to make up for lost economic ground (with industrial energy demand resurging) led to a quick GHG emissions rebound, and originally intended green economic stimulus was gradually redirected towards fossil-fuel investments. Among a diversity of factors nudging or weighing in on tough political decisions, IAM studies trying to address different aspects of the crises alone failed to capture critical factors and guide policy into greener paths—be that by overlooking signs of previous such shutdowns (Peters et al., 2012), assuming unrealistic clean energy spending (Pollitt et al., 2021), fixating on overly optimistic persistence of confinement-induced behavioural changes (Kikstra et al., 2021), or simply failing to provide timely actionable guidance.

Similarly in the 2022 energy crisis, amidst calls for a strategic opportunity to 'turbo-charge' the energy transition, debates on energy-price shocks quickly saw world leaders prioritising grey investments and plans to tax the renewables industry over windfall profits created by fossil-fuel price distortions, with severe implications for cleantech investments. Such developments not only close this 'window of opportunity' for low-carbon transitions but could also trigger new carbon lock-ins (Fisch-Romito et al., 2021). Much like in COVID-19, modellers' quick efforts and idealised assumptions to grasp the full picture in today's energy crisis were off-track and quickly invalidated (e.g., Chepeliev et al., 2022).

As evident from this underrepresentation of these 'windows of opportunity' in both COVID-19 and today's energy crisis, the current IAM paradigm is not without flaws. Contested assumptions and post-decision analyses highlight the risk of flooding the scenario literature with delayed, irrelevant, and/or unrealistic exercises, which—despite their scientific added value—could lead to further divergence (Xexakis et al., 2020) between modelled pathways and decision-makers. This should act as a wake-up call for a paradigm shift, before the place of IAMs in policy support is gravely undermined.

On a second axis, and narrowing down to the societal perspective, legitimacy in IAMs is about not only the systemic role of actors on the ground but also their dynamic behaviours, motives, strategies, and initiatives. A model may solve on the assumption that businesses adopt work-at-home policies, as a green residual effect of COVID-19 confinements; in reality, however, this work-habit shift has not taken off as much as hoped. Similarly, a model may solve on the assumption that citizens reduce their heating demand, responding to governmental pleas to confront today's energy crisis (Lau et al., 2022); this does not mean that the produced pathways will prove socially realistic. Unlike simulated and upscaled/generalised initiatives, different people would respond differently to (urgent) objectives and modelling activities standing a chance of providing useful insights must represent these different perspectives.

The desirability of the futures imagined and quantified, therefore, largely depends on the people represented and actively involved in IAM processes. The concept of knowledge co-creation for sustainability is older than the IPCC's 5th Assessment Report (Mauser et al., 2013)—and has existed for much longer in other domains. But, despite the proliferation of prospective/theoretical frameworks in the literature (Trutnevyte et al., 2019; Nikas et al., 2020), these have not yet been operationalised at-scale. Transdisciplinary modelling is typically viewed too hard and resource-intensive to implement—perhaps even more in COVID times. Meaningfully involving stakeholders in IAM processes has long anchored to simplified forms of consultation, while unlocking the full potential of such approaches remains typically framed as the ambitious next step.

As such, only a handful of model inter-comparisons (i.e., the large modelling exercises forming the bedrock of IPCC assessments in the peer-reviewed literature) exist with the involvement of stakeholders (Nikas et al., 2021). In particular, Veerkamp et al. (2020) projected future changes in biodiversity and ecosystem services based on stakeholder-informed storylines, while Realmonte et al. (2019) employed expert elicitation techniques to inform on the potential of Direct Air Carbon

(DAC), a key negative emissions technology, in a multi-model exercise regarding the role of the technology in 1.5°C and 2°C scenarios. Similarly, Roelfsema et al. (2020) took stock of national climate policies with the assistance of experts before modelling their impact towards implementing the Paris Agreement. Such analyses, however, mainly incorporate stakeholder concerns rather than achieving the full spectrum of co-creation. Although recent efforts have been made to better and more holistically include stakeholders in the process in a co-creation manner, these remain scarce. To both provide realistic insights in times of crises and avoid transdisciplinarity becoming a buzzword never to materialise in IAM practice, modelling co-creation must be revisited in this polycrisis context.

As hinted in the Introduction, the identified weaknesses of the current IAM-based modelling paradigms in the crisis context may be summarised as "timeliness, realism and relevance". In particular:

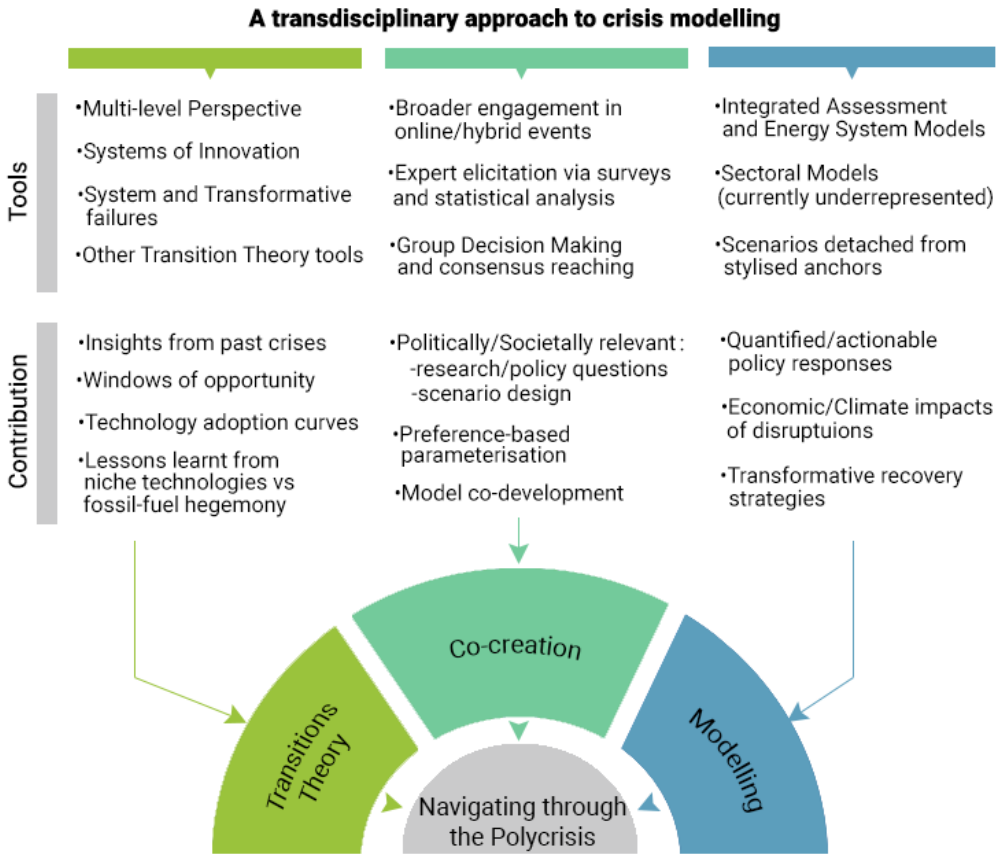
- Timeliness of decision support offered by the models:
  The time required to facilitate a modelling analysis, and in particular an IAM-based one, as well as the lack of authoritative datasets driving such studies during crises, hamper the ability of the models to provide meaningful insights on a timely manner, especially in an everchanging environment.

- Realism:
  Limitations in the way several aspects and dimensions are incorporated (or not) within models as well as their inputs (assumptions) and outputs (results), based on existing caveats, can be challenged in terms of their realism leading to insights that are not always considered reliable by stakeholders (including policymakers), especially under crises.

- Relevance:
  Similar limitations can significantly reduce the possibility space of IAMs in times of crisis, reducing their capacity to answer questions that are in line with what stakeholders actually want them to answer, instead shifting to aspects well within their comfort zone.

To address these limitations and answer the core research question posed in this thesis, a transdisciplinary modelling paradigm is developed, allowing to respond to crises in energy and climate policy (Figure E.1) in the form of a multi-stage process vis-à-vis the type of targeted input from transitions theory and non-scientific actors, from which IAM practice can benefit. The

intention is to underline how and why the use of these tools can contribute to the timeliness, realism, and relevance of modelling practice in this 'polycrisis' context.



.

Figure E.1. The proposed transdisciplinary framework

Drawing from transitions theory, socio-technical analysis frameworks have long contributed to providing a systems perspective in low-carbon transitions, establishing narratives that incorporate broader societal transformations and having the potential to inform the design of realistic modelling scenarios (Van Sluisveld et al., 2020). Such frameworks can have a twofold contribution to timely and realistically informing modelling efforts in the challenging endeavour of assessing crisis responses. First, by performing deep dives into the past, they can shed light on impacts of and responses to previous crises or the 'windows of opportunity' that were used, misused, or left unexploited, and produce insights beyond opportunity narratives (Geels et al., 2022). For example, the prospect of political choices in favour of economic activity and recovery leading to GHG emissions rebounds should not have been difficult to pin down, considering historical trends—e.g., after the 1970 oil crisis, the Soviet Union dissolution, or the Great Recession. Socio-technically

informed modelling can quickly introduce such trajectories and/or choices within scenario design. Second, from a systems perspective, these frameworks can inform on systemic configurations and roles of actors, networks, and norms in the envisaged transition (e.g., technology diffusion), offering reality checks on modelled pathways and helping incorporate disruptive technology adoption curves or societal desirability implications within scenario exercises (Nikas et al., 2020).

Involving non-scientific bodies of knowledge, priorities, and preferences into modelling can be key to guiding modelling into addressing topics of policy/societal relevance. COVID-19 confinements pushed towards new stakeholder engagement approaches, enabling opportunities that established best practices of more sustainable, far-reaching, virtual experience for the post-pandemic world. Online/hybrid events and surveys gained ground during and after lockdowns, as they enabled the participation of considerably larger groups in deliberation processes, including from marginalised communities and/or the developing world. The representation of a significantly larger viewpoint space and a wider set of options and analytical tools presents a golden opportunity to expose modelling practice to larger communities with diverse needs and expectations, enhancing real-world-relevance. Such options allow the expression of perceptions in the light of crises, across modelling steps: realistic expectations, research questions, scenario design, model parameterisation, reality checks—even model development itself.

Eventually, modellers can use these inter- and transdisciplinary insights and produce quantifiable, actionable responses to today's polycrisis. This entails exploring the immense spectrum of plausible futures, including non-IAM pathways—be that stylised storylines produced in participatory foresight methods, or fully quantified pathways produced with forecasting techniques or other models of focussed regional or sectoral granularity (Gambhir et al., 2022). This can help move away from idolised instances to which IAM studies typically anchor, such as the shared socioeconomic pathways, the narratives behind which may have long been invalidated—e.g., from post-COVID GDP projection updates, to revisiting the place of dominant "middle-of-the-road" and underexplored "regional rivalry" narratives after the Ukraine invasion. In doing so, modelling can more accurately measure the true economic and climate impacts of disruptive crises, offering insights into transformative recovery pathways that can exploit cracks in fossil-fuel hegemony. Notably, sectoral models (e.g., industrial models providing unprecedented levels of technological, demand, and investment detail for key economic sectors) hardly ever make it into scenario databases, owing to their limited representation of climate responses, non-CO2 gases, and/or whole-economy impacts.

With crises having deep implications for specific economic sectors (industries, buildings, transport systems, etc.) that are ill-represented in IAMs, such sector-focused tools can offer rich insights into these implications while providing nuanced benchmarks and validity checks of IAM pathways.

The goal of this thesis and the following sections is therefore to put transition theory and co-creation resources to good use and inform modelling exercises to facilitate a transdisciplinary framework that is capable of supporting decision making in energy and climate policy under crises.

E3. The role of crises, pressures and disruptions in past transitions from a socio-technical perspective.

In the sociotechnical analysis section, a set of four sociotechnical analyses were presented in seven countries and for four different sectors, namely the industrial sectors of Germany and the United Kingdom, the transport sectors of Norway and Canada, the power sector of Greece, and the biofuels and transport sectors of Brazil and Argentina. Sociotechnical analyses constitute a standardised process of collecting secondary bibliographic and statistical data rendering them an important tool that contributed to understanding the historical evolution of past and present sustainability transitions (Markard et al., 2012; Köhler et al., 2019) and the systemic formation of regimes that enhance or hinder the penetration of technologies and innovations, especially in the light of a set of crises, pressures, and disruptions (Geels, 2013; Loorbach et al., 2016). In particular, the cases were selected on the basis of the crises incorporated within the paths represented in these crisis-sector combinations, namely the oil crisis (Brazil-Argentina) as a proxy of the current energy crisis, the financial crisis of 2009 (most cases, notably the Greek case) as a proxy of the socioeconomic impacts of the COVID-19 pandemic, the pressures from strong fossil fuel regimes (mostly Norway-Canada) reflecting contemporary dynamics, and sectors in decay (Germany-UK) representing a longstanding shift from manufacturing to services and the decline of industries (e.g., decline of coal industry).

At the methodological level and through the sociotechnical section, the dissertation contributed to developing two new extensions of methodologies of transition theory and sociotechnical analysis.

It initially presented an integration of the Sectoral Innovation System (SIS) with the System Failures Perspective. This integration represents a significant improvement in the SIS, as it allows shedding light not only to the systemic configurations where innovation takes place but can identify weaknesses within the system that could act as barriers to future diffusion of new technologies.

At the same time, this consolidation proved suitable for studying sectors in decline, something that had not been done hitherto in transition theory. The integrated framework presented in Figure E.2 is based on the four blocks in the original SIS framework (Malerba, 2002; 2004; 2005; Rogge and Hoffmann, 2010), namely "actors and networks, institutions, demand, and knowledge, learning processes and technologies", and the four types of innovation system failures (Woolthuis et al., 2005), namely "institutional, infrastructural, capabilities and interactions". This framework is used for the cases of Germany-UK and Norway-Canada.

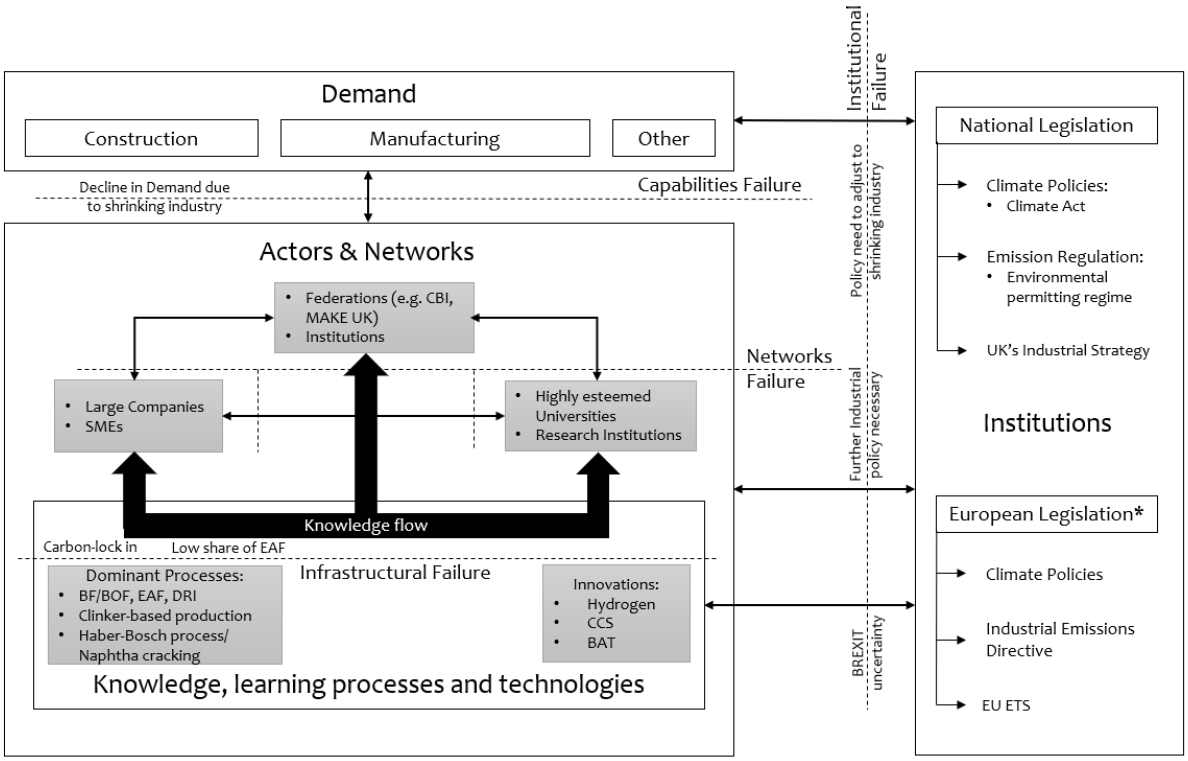


Figure E.2. Theoretical approach for the integration of the SIS and the system failure framework

Subsequently, the integration of the Technological Innovation System (TIS) with the Multi-Level Perspective (MLP) was presented; this, despite previous such calls (Markard and Truffer, 2008), had not been configured in such a way as to meet the needs of sectors characterised by multiple sub-regimes, such as the transport sector, thereby exploiting both the opportunities of TIS in the form of the diffusion of multiple technologies that pop in (or out of) the regime and the advantage of MLP in representing macro impacts such as crises. In particular, the three levels ("micro, meso, macro") of MLP's nested hierarchy (Rip and Kemp, 1998; Geels, 2002) are combined with the 'functions' perspective of the TIS (Hekkert et al., 2007; Hekkert and Negro, 2009; Bergek et al., 2008)

(Figure E.3). Applying the frameworks in a nuanced integrative approach, instead of a conventional historical analysis, allowed to uncover knowledge that can help guide the transition and understand the factors behind technological and systemic change. For example, through this integration, a new trend emerged in the placement of innovations within the three levels of MLP, with the proposed methodology indicating that the technologies and innovations of a TIS may be placed at the borders of the theoretical boundary between the micro-and meso-levels, contrary to a typical MLP configuration. A simple MLP framework is chosen for the Greek case and the integrated MLP-TIS is chosen for the Brazil-Argentina case.

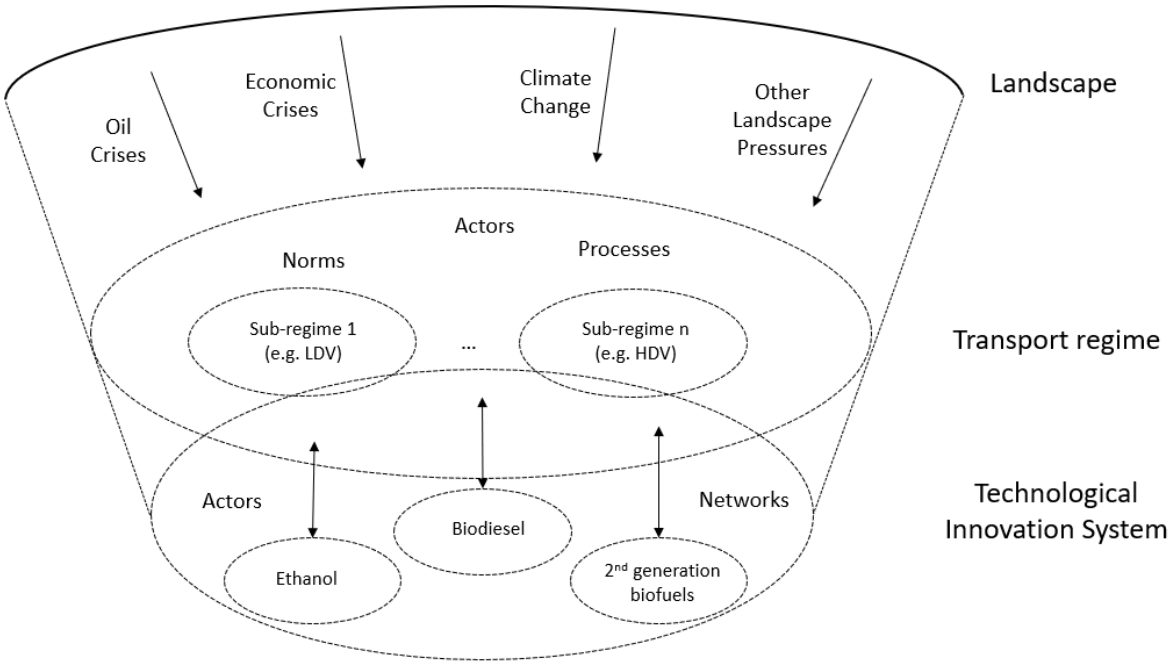


Figure E.3. Conceptualisation of the integrated MLP-TIS methodological approach presented from the perspective of the transport sector and emphasis on biodiesel innovation.

First, the German and UK industrial sectors are revised from an innovation system perspective, to understand drivers of and barriers to entry for new, sustainable technologies and translate them into policy implications. While their total CO_2 emissions have continuously reduced in the UK, they have been stalling in Germany since 2000. The analysis is focused on the energy-intensive sub-sectors of iron and steel, cement, and chemicals, representing most industrial CO_2 emissions in both countries. Recent emissions cuts are shown to mainly stem from shrinking activity, while limited decrease of carbon intensity implies low diffusion of low-carbon technologies. By

implementing the SIS framework, the role of actors, institutions, demand, and knowledge is examined for both countries; further combining the SIS structural elements with the system failures framework helps identify existing or potential risks for the diffusion of innovative technologies related to sectoral decarbonisation.

The iron and steel industry has been a main driver for Germany's economy, providing the necessary materials for the domestic automotive industry, affecting multitudinous value chains. These business-to-business networks between companies in each sub-sector and their respective consumers constitute strong demand influence on the German innovation system. Even though different interests exist within the system, large corporations, coupled with powerful associations with impact on global industry, lead to stable economic activity of German industry, although strong networks present occasional challenges, with the capacity to delay environmental regulation affecting transition towards greener technologies. However, this observed balance is not equally reflected in UK industry: its ongoing transition from an industrial towards a service-based economy poses major threats for the system, progressively leading to shrinking economic activity, additionally facing Brexit-related uncertainties. However, partial deindustrialisation of the economy has weakened the regime, contrary to Germany, which has not yet resulted in substantial changes in carbon intensities but presents an opportunity for new businesses with innovative sustainable processes to emerge and benefit from the downturn (Pisano, 2006).

This critical difference allowed a comparative analysis of the two countries to provide valuable insights into existing challenges incommoding creation and effective diffusion of innovation, but also into potential challenges in the UK that the stable German system is not yet experiencing. China's competing role as a significant barrier is frequently raised, since different domestic mechanisms and conditions keep prices low and threaten the examined industrial systems. This competitive edge, also valid for other emerging economies, affects UK and German manufacturers, increasing imports, while decreasing demand for domestic supply. This effect is stronger in the UK, since the automotive industry helps Germany's industry withstand pressure and retain shares, but further international competition may act as a disruptive force against this stability. Addressing the issue both at national and European level has led to institutional inconsistencies, since strict emissions targets needed to be relaxed through free allowances for industrial sectors to boost competitiveness, acting as a bottleneck for innovative technologies and allowing the regime to retain currently energy-intensive processes. This is a plausible explanation for little progress in

reducing CO_2 intensity in most energy-intensive sectors indicating that the transition is still at very early stages.

As showcased here, transition of the examined industries cannot be driven automatically by the actors, who even push for more lenient targets, since there is no universal opportunity providing huge financial incentives. Future policies need to address this hesitation by applying stricter targets for the industrial sector. A stricter EU-ETS regulation can provide this incentive to guide the transition, since stricter policies are usually correlated with boost of innovation (Borghesi et al., 2015). Simultaneously, fear of carbon leakage can be limited through policy actions, like carbon border tax adjustments, to boost competitiveness of specific sectors or European countries mostly affected by production relocations (Vögele et al., 2020). Occasional opportunities for emerging green technologies, such as the use of blue or green hydrogen and CCS can be exploited, since they already receive significant private-sector interest. Industrial policies must have a clear strategy for sustainable transition, providing ways to finance such technologies addressing the high investment costs required. It is also necessary for these transition costs to spread through the entire value-chain and be evenly distributed among state and actors, who hitherto showcased reluctance. Moreover, future policy decisions on the industrial decarbonisation roadmap to follow independently or in collaboration with the EU need to address Brexit-institutional uncertainties and assist new players launch innovative entrepreneurial activities.

Second, the transportation sectors of Norway and Canada are analysed, also from an innovation system perspective. This method contributes to the examination of the diffusion of innovative and sustainable technologies through interaction between actors and networks. It also helps determine the barriers to their penetration into the studied systems. This analysis does not have a single focus (e.g., electric vehicles) but investigates a broader spectrum of the transportation sector, including road, rail, marine, and air transportation. The importance of actors, institutions, demand, and knowledge is studied by means of the SIS framework, further coupled with the SF framework, through the identification of potentially emerging or existing challenges towards the adoption of climate-friendly, innovative technologies and practices.

The abundance of fossil fuels and the economic prosperity of both countries have led to a continuously increasing activity of the transportation sector, accounting for approximately one quarter of GHG emissions in both countries. Institutionally speaking, both countries have taken action towards legislating various reforms in order to support the transition towards a “greener”

transportation sector, including not only road, but also marine and air transportation. In the case of Norway there has been significant activity in the maritime sector, which is gearing up its domestic innovation capacities with emphasis on cutting-edge technologies in environmentally friendly shipping. While road EV diffusion is still the main innovation on the SIS of Norway, there are indications of a spill-over from electrification in road transport to sea transport, where Norwegian high-tech companies engage in R&D activities with the support of public investments. The lack of such activities in the case of Canada is evident in the legislative rigidities among the federal and provincial governments, as was the case with the dispute over the GHGPPA act and the support given to the domestic oil industry, who strongly opposed it. The interactions between the networks and actors of both innovation systems are generally stable, and in Norway actors are becoming increasingly integrated through joint initiatives, but the level of emissions from transport are so far not reduced drastically, despite efforts in both countries, indicating the lack of sincere effort from the system actors in addressing these challenges. Both countries are characterised by an abundance of incumbents in every sub-network, but in the Norwegian maritime sector there seems to be great potential. Most incumbents are private-owned in Canada, while the picture is more mixed in Norway, both publicly- privately owned companies, as well as public R&D schemes targeted towards both the public and private sector, with various implications—both positive and negative—for innovation coordination and struggle for competitiveness. Another contingent barrier is the significant activity of oil companies in both countries, which may result in lock-ins, with oil industry accounting for an important portion of both countries' exports. Excluding this challenge, the innovation systems of Canada and Norway are not considered highly susceptible to a system failure caused by the network agents' interactions.

Both countries' systems face challenges related to demand, some of which are also related to actors not directly involved in the system, such as the oil industry; hence they are not so easily affected by changes within systems. Regarding factors that are more closely related to system demand, Norway demonstrates a more robust transportation sector since there is larger demand for EVs and a generally more conducive landscape supporting the transition. This higher demand for EVs in Norway mainly results from the country's legislation which has promoted the purchase of EVs with multiple financial stimuli, such as subsidies, lower toll rates etc. The external infrastructural factors do not pose any significant challenges for neither country, since both Canada and Norway dispose developed communication and energy networks. Regarding internal factors, there are concerns that the fast-charger infrastructure is not developed rapidly enough, which could

be a diffusion barrier in case demands rises beyond the capabilities of the existing infrastructure. Norway is facing fewer challenges on the sector of electric mobility, given the already existing network, even though it needs to be extended, but it is less capable of a hydrogen or biofuel diffusion, although significant initiatives exist, especially in biofuels. In comparison, Canada has greater expertise and technical capacity, evident in the difficulties of Norway to increase the domestically produced share of biofuels despite the ambitious targets set. As a result, both countries may experience an infrastructural system failure towards the penetration of electric vehicles and the transition of its transportation sector either in the form of difficulties surrounding the charging infrastructure, or the limitations in the transition to alternative fuels.

In summary, Canada faces more risks in comparison with Norway, which may lead to a rockier road to decarbonisation. This obstacle stems mainly from Canada's demand and institutions dynamics and, subsequently, from infrastructural requirements. Policy stringency is much more needed in Canada, therefore, towards counterbalancing these challenges and encountering the existent and potentially emerging bottlenecks, in order to overcome conventional technology lock-ins in the transportation sector. For this process, lessons learnt from Norway's progress can provide valuable policy insights into seizing opportunities and avoiding contingent threats. The sustainable transportation strategy of Norway has been historically focused on incentive policies to boost the share of EVs. This led to an exponential increase in their shares, while also boosting public awareness. However, the limited progress achieved in mitigating transport GHG emissions hint that, even though such policies are useful, the evaluation of their impact is exaggerated leading to a falsely cultivated image of transitional leadership, which even allows actors to ignore the lack of mitigation progress. Societal resistance towards these policies led to a reduction of such incentives in 2017 by 50%, without affecting the exponential growth trend, showcasing that as part of an effective decarbonisation strategy these measures need to play a supplementary role. In fact, cheap electricity prices from hydro-based power generation can provide a sufficient incentive for EVs due to the limited cost of use, an observation that can be useful for Canadian provinces like Quebec with significant hydro-power potential. On the other hand, spillover towards sustainable shipping, as well as smaller initiatives, such as the growing interest in electric aviation, indicate that actors can be properly engaged in the process, and actually plea for coherent strategies that place emphasis on financing innovative technologies and infrastructure. Both Canada and Norway need to address these requests from their respective systems, adapting their strategies in harmonisation with actor initiatives, as is the case of the electric ferry and the development of a fast-charging

network from local utilities in Norway. Channelling investments towards technological research and private-public sector collaboration can potentially limit the strength of regime actors, like oil industry, as evident from the relative lack of extensive legislative rigidities in Norway that threaten the transition.

The results indicate that Norway's EV incentive policy is less effective than expected, despite being considered pioneering. Low electricity prices from hydro-based power generation allow the creation of sustainable strategies without heavily relying on additional financial motives. Instead, focus should also be given on the electrification of the other sectors, considering the high interest from the actors of the system. In the case of Canada, it is showcased that regional differences have significant impact on the development of a universal strategy. Multiple bottlenecks are introduced due to uncoordinated federal and provincial legislation; while, depending on the involvement in oil and natural gas production, fossil fuel powerhouses show different levels of influence. The same can be said for Norway, although public funding towards private-public collaborations show a tendency to limit the strength of regime actors.

Third, the Greek electricity system is mapped from an MLP perspective, in order to understand how a low-carbon transition to a sustainable post-lignite era can be achieved through the phase-out of lignite, rather than simply focusing on the phase-in of niche technologies. This case study presents several aspects of the Greek electricity system, with the 2008 economic crisis as a reference timepoint; by implementing the Multi-Level Perspective framework, the interactions and dynamics between three different levels are examined: regime, landscape, and niches.

Regime analysis of the coal-intensive Greek electricity system showed that, for many years, lignite exploitation contributed to the country's socioeconomic growth. Electricity demand had been increasing until the emergence of the 2008 financial crisis. Climate change and respective EU policies, as well as national legal developments regarding the operation and management of the electricity system, including inter alia market liberalization, contributed to the decrease of lignite utilization for electricity generation, and to the parallel increase of renewables in the power generation mix; but an unstable regulatory framework driven by commitments to austerity-oriented reforms halted the pace of RES penetration (Nikas et al. 2019). The latter was deemed insufficient considering the national targets for environmental protection and climate action (Forouli et al. 2019). Coal phase-out should be implemented with at-scale deployment of existing and new niche

technologies that can at the same time mitigate the negative impacts on employment and therefore also boost regional development. Such technologies were also analysed, and their impacts on various dimensions were assessed to be overall positive.

The drafted and then revised Greek National Energy and Climate Plan (NECP) includes ambitious targets for climate change mitigation, with implications for almost every economic sector and aspect of the Greek society. Our research highlights that local civil societies in the lignite regions should be facilitated to transform, in order to maintain social cohesion; this support will provisionally enable achieving a just transition, in consideration of requirements for procedural and distributional justice across different income groups, labour and gender. Moreover, in order to address potential adverse effects of such a transition, focus should be given in the country's performance across all sustainability dimensions, emphasizing the country's development with respect to the environment, in order to avoid any further impacts of global environmental change. In careful consideration of the factors that boosted lignite as a major energy source in Greece as well as hindered attempted transformations in the past, as analysed in this research, the energy transition can prove beneficial for the country's economy and contribute to its recovery from the long-lasting socioeconomic impacts of the economic crisis.

Finally, the historical evolution of the transport regime in Brazil and Argentina was studied, and pressures and opportunities created by the broader environment were assessed, to understand the conditions allowing recent emergence of biodiesel as a dominant technology. Two sustainability transition frameworks were employed, MLP and TIS, enabling studying the socio-technical transitions of the two countries and innovation diffusion inside the systems: MLP was used to analyse the fossil fuel-dominated regime and historical changes resulting from landscape pressures and alternative innovation technologies; and TIS to map the formation of the biodiesel innovation system onto MLP insights, considering the evolution of the technology and interactions among alternative fuels.

MLP analysis made evident that landscape factors in the form of different crises (oil, recession, and political turbulence) had a significant impact on the shaping of the transport regime, especially considering institutional, legislative, and fiscal adjustments that had to be performed in the regime to adapt to these pressures. Consequently, the two countries followed markedly different trajectories, with Brazil pursuing biofuels and particularly ethanol, and Argentina straying towards natural gas due to the global oil and domestic economic crises. Therefore, even though windows

of opportunity provided the necessary destabilisation shocks in the regimes, it was the Brazilian policies that led the transition to a more sustainable pathway early on, while Argentina was locked-into a fossil fuel-based pathway, with subsequent consecutive financial problems creating difficulties in pursuing disruptive innovations. The two countries' trajectories started showing signs of alignment only after 2005-2006, when they both invested in the expansion of the biodiesel industry. In Argentina, it was the 1998-2002 economic crisis that led to biodiesel promotion, while in Brazil after the 2005 growth a second increase was observed in 2014, after the severe political and economic crisis. This most recent window of opportunity enabled expansion of the biodiesel industry, making Brazil and Argentina two of the most prominent producers of soybean biodiesel worldwide.

Understanding the reasons behind the success of biodiesel in the two countries is an important task towards informing future sustainability pathways that focus on deeper transformations, since from 1990 onwards CO2 emissions cuts (decoupled from energy demand decreases) are observed only recently, along with the increase of biofuel shares. This is the same, yet uneven, case in both countries, despite their significantly different historical trajectories. Transport emissions cuts are greater in Brazil than in Argentina, where the initial decrease was followed by stabilisation. These deviations are attributed to the different legislative approaches regarding biodiesel and energy mix. Argentina rose faster to a share of 10% in the mix, while Brazil followed a steadier increase. Argentina legally pursuing and reaching a 10% target, via a mandate, is the reason behind emissions stabilisation afterwards, while Brazil has the potential to further improve the sector's efficiency and increase the share in the energy mix. Therefore, a key to decarbonisation of both sectors lies in driving biodiesel consumption growth after hitting the 10% milestone, considering that production still relies on taxation incentives to be financially viable, which also provides a theoretical nugget on innovations that lie in the middle of the regime-niche borders. Part of these different policy approaches in the mandates can be traced to the two countries' economic activities, with Argentina prioritising exports and Brazil enhancing the domestic market. In light of landscape pressures arising from the Argentina-Spain crisis after YPF nationalisation, balancing exports and domestic consumption is a key challenge for the Argentinian sector as the transition unfolds. To be able to cope with threats of food security from expansion of biodiesel to meet the increased demand from higher mandates, both countries need to focus on diversifying feedstock and create productions of scale for other oils instead of depending on soybean, which could also enable extrapolation of the identified trajectories to shift from first- to second-generation biofuels.

In synthesising the information from these sociotechnical cases, the bibliographic and secondary-data analyses contributed to the scope of this dissertation, by increasing the understanding of sustainability transitions and the impact of crises, pressures, and other forms of disruptions.

In particular, more than 15 bottlenecks were identified to arise from political, social, technological, economic, socio-economic, socio-environmental dimensions, which were relevant and common to all the case studies in the countries and sectors studied (the total number of barriers identified amounted to 89, including non-common ones) and which could hinder the progress of sustainability transitions. These identified obstacles paved the way and inspired/guided a set of modelling analyses that go beyond the scope of this thesis (e.g., socio-technically informed modelling outside the scope of a crisis).

Emphasis was also placed on post-crisis events revolving around recovery and a rebound to pre-crisis levels, in numerous examples where such instances were evident, not only in key indicators of emissions or total consumption, but also in more specialised metrics that further highlight the deep impact of rebounds within a system. Characteristically, the value added of Germany's industrial sector showed a momentary decline after the 2008 financial crisis (following a period of growth before the recession), only to return to pre-crisis levels very soon. The emission intensity of the UK industrial sector, by contrast, displayed similar trends, with an immediate post-crisis rise returning to the pre-crisis levels after a few years. At the same time, but from a different perspective, the corresponding crisis was not capable of disrupting the gradual GDP growth of Canada's transport sector in the long run. These examples showed that discussions around the positive environmental impact of COVID-19 on reducing emissions or significantly reducing demand in the long run have been overly and unrealistically optimistic, even showing that rebounds can also occur in individual specific indicators that drive emissions, such as the added value of a sector, and that after the recovery to normal conditions emissions quickly rebound.

Another related concept that emerged as central to the relevant transitions in times of crisis was that of the ‘window of opportunity’, a phenomenon that models struggle to manage, as previously discussed. Windows of opportunity consist of cracks caused in dominant regimes as a result of crises and corresponding pressures and allow innovations to diffuse into a system and potentially upset the current structures. Within this context, the notion that "crises create opportunities" is widely spread, which in the context of climate action refers to opportunities for clean emission technologies that could accelerate the green transition. However, in the context of the socio-

technical reviews, this must not be taken for granted. In fact, many times windows of opportunity can be exploited by existing structures/actors/technologies of the dominant system to perpetuate their dominance, such as fossil fuels in our case. We saw such cases appear in the case of Greece as a result of the economic crisis and a long effort to phase out lignite, where it was natural gas that was the "winner" in the end, creating a new regime that will have to be disrupted again if we are to pursue a truly sustainable pathway. This is opposed to a course where natural gas would have been used as a transitional fuel. In support of this trend, the comparative analysis of the biofuels and transport sectors in Argentina and Brazil has further highlighted such dynamics. In particular, as a result of the oil crisis, Brazil used the window of opportunity to promote biofuel technologies—which are also seen in Norway as complementary to electric cars by counterbalancing rebounds (e.g., increase in passenger-kilometres)—while Argentina chose to support gas-based solutions. Through a series of successive crises in the region and alternating between self-consumption and exports, decisions in times of crisis may leave an imprint decades later, with Argentina showcasing a sector with stronger lock-ins on fossil fuels. On the contrary, Brazil showcased signs of a sector that seems more capable of utilising cumulative knowledge, another important socio-technical concept that emerged and concerns the use of past knowledge, for the next steps of the transition.

E4. Eliciting stakeholder viewpoints and co-creating preferences under crises through operational research

After the sociotechnical analyses, insights gained from the co-creation process with experts, decision-makers, and various stakeholders using operational research techniques were presented, to extract the preferences and viewpoints of more than 350 participants in the stakeholder engagement and participation processes of this thesis. This was done through a workshop for co-creating modelling exercises with stakeholders including a dedicated session on prioritising sustainable development goals in Europe, a large-scale online survey on the potential for game-changing innovations, a workshop on prioritising sectoral transitions and sustainable development goals in Kenya, and a study on the impact of crises on the spectrum of Sustainable Development Goals and the differences between sustainability experts and IAM modellers.

From a methodological perspective, and to support the implementation of the workshops, surveys, and studies of this section, two new operational research methodologies were developed for extracting the knowledge of stakeholders in co-creation processes and simulations.

Initially, a new method of multicriteria group decision making and consensus was introduced, namely the 2-tuple Group TOPSIS method. This can be used in energy and climate policy problems requiring a multicriteria setup with many participants/decision-makers to extract their knowledge, preferences, and priorities in such a way that the results, through the use of simple linguistic variables, are understood by everyone and can be translated to action.

One of the first applications of a combination between 2-tuples (Herrera and Martinez, 2000; Herrera et al., 2005; Martinez and Herrera, 2012) and TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981) was performed by Doukas et al. (2010) and later by Doukas et al. (2014), with the 2-tuples used allowing to present input and output data without affecting internal calculations of TOPSIS. The 2-tuple TOPSIS model was formally introduced by Wei (2010), where the proposed methodology was applied in an investment problem with multiple experts, but led to calculations that experiences the problem of loss of linguistic interpretation. To deal with this issue, Sohaib et al. (2019) proposed as a solution setting different linguistic domains for the evaluation of preferences, weights, and final distances in the calculation of 2-tuple TOPSIS. However, in decision making problems that include stakeholder engagement with feedback processes, using three different linguistic domains may be technically correct from a modelling perspective but creates difficulties for stakeholders to quantify the final results, thus affecting their ability to translate them into action. Although their solution handled the issue of loss of information, defining strictly different domains to evaluate them is not necessary, as long as the distance function is properly handled. Building on Sohaib et al. (2019), in the version of the 2-tuple TOPSIS proposed herein—which is later implemented in a group decision making setup, based on multiple rounds of TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011)—the calculations of the distance function are simplified while respecting linguistic information, applying the same general 5-scale term for the preferences and the calculation of distances. Understanding that the terms in the two scales may be the same but used to express different variables allowed the mapping of each value in a universal domain without disturbing linguistic interpretability. This approach is thus better suited for climate policy problems with stakeholder engagement to allow actors to compare the results in the values in which they provided the initial input.

An additional key innovation of this method is the introduction of a consensus measurement index, which takes into account both the ranking proposed by each decision-maker and the absolute scores, and compares them with a collective group solution, in order to produce useful insights about the different views that coexist within the group of participants, contributing to bridging their

differences and enhancing the concept of climate diplomacy. At the same time, through the appropriate design of interrelated questionnaires, this methodology seems to reduce inherent biases in participants. The 2-tuple Group TOPSIS method was used for the SDG session of the European workshop, the global survey on game-changing innovations, and the Kenyan workshop.

Secondly, a new method is proposed that integrates fuzzy cognitive maps (FCM) (Kosko, 1986) with Monte Carlo simulation—Monte Carlo Fuzzy Cognitive Mapping (MCFCM). So far, the lack of progress in FCM convergence did not allow such a development. Recent progress in achieving convergence (Harmati et al., 2023; Koutsellis et al., 2022), however, has allowed the realisation of such an integration, which is capable of representing a wide range of uncertainties of the systems simulated by FCMs, both at the level of systemic configuration, such as causality relations as represented by node weights and usually determined by stakeholders (uncertainty due to human subjectivity), as well as in terms of disturbances on input signals (uncertainty from the environment). This progress constitutes a valuable addition to energy and climate policy simulations in times of crises (by default uncertain events), as FCMs have been criticised for their lack of uncertainty management to a satisfactory extent, which is also a common criticism of IAMs (Gambhir et al., 2019), and as such the MCFCM could better act as substitute for participatory exercises and provide more robust results, give a more realistic representation of prioritisation, and highlight issues (especially regarding the scope of uncertainty) that may escape a conventional approach. The MCFCM approach is presented in Figure E.4. The MCFCM framework was used for the simulation related to the impact of crisis on the SDG spectrum.

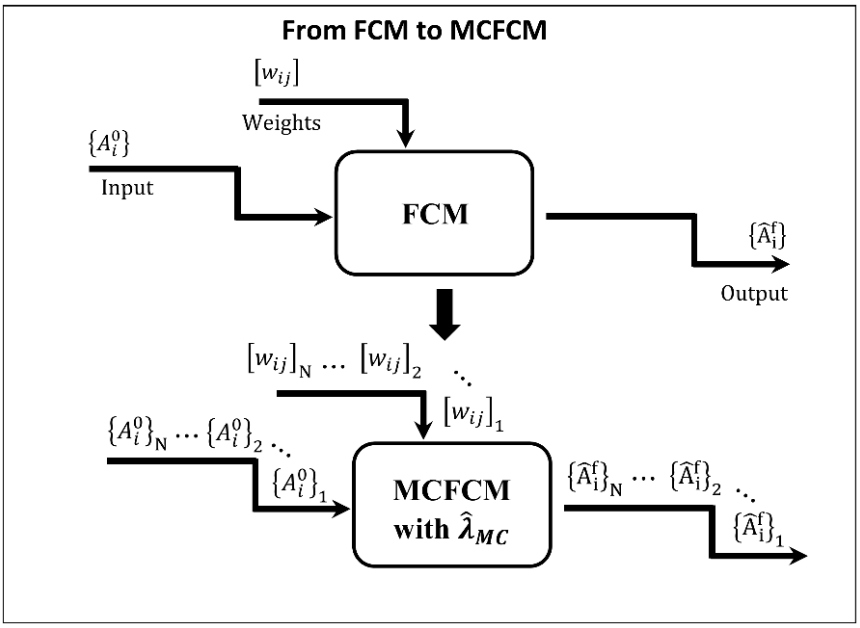


Figure E.4. The MCFCM approach

In the first stage, a consultation workshop was held for the co-creation of scenarios and modelling priorities highlighting important issues that 57 participants considered key and asked for in-depth analyses. The interactive sessions of the workshop followed the process outlined in Figure E.5. One such important issue that stood out was the formulation of a realistic baseline scenario based on current policies and pledges in order to understand where the world, and Europe in particular, are headed, which can then be used as a reference scenario for all other analyses. Additional important issues that emerged during the discussions referred to the role of changes in consumer behaviour and lifestyles on the demand side, the role of game-changing innovations, employment implications and the need for investment, as well as issues related to electrification, energy storage and hydrogen.

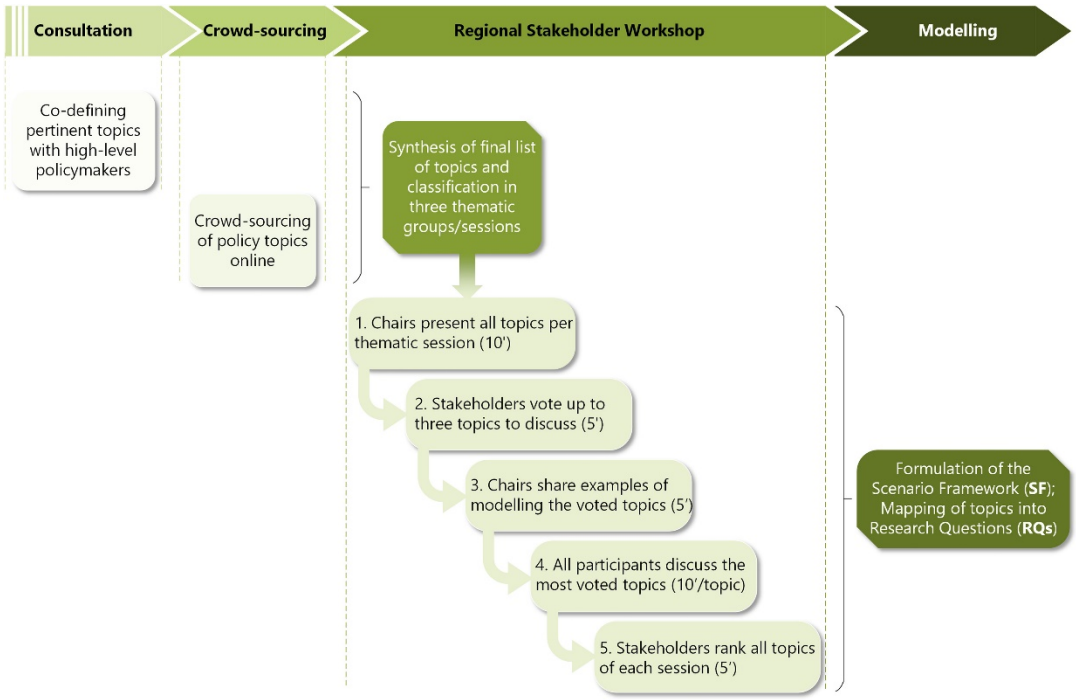


Figure E.5. Stakeholder engagement process and development of scenario framework and research questions.

Following these discussions and at the same workshop, a voting session took place, attempting to prioritise SDGs based on the evaluations of 31 stakeholders from different backgrounds in order to shed light on which SDGs they consider most urgent to study in modelling activities. This study attempted to answer a key research question of how urgent climate stakeholders believe it is to incorporate SDGs in climate- and energy-economy modelling exercises by prioritising them based on their perceived importance, relevance to climate change, and progress achieved so far. Early in the analysis, it became evident that the engaged stakeholders considered that further studying SDGs in relation to climate change is critical. Most of their initial answers were concentrated towards the higher end of the linguistic scale, with the “very high” term receiving the most answers. This indicates that stakeholders not only believe that SDGs are important and relevant to climate change and action, but also that until now limited progress has been made in achieving meeting them. Given a general tendency of stakeholders to follow a moderate behaviour and avoid extreme values of the scale, these high ratings provide a first indication that climate stakeholders are highly interested in integrating SDGs more in modelling exercises.

Both from the intermediate multicriteria analysis and the final ranking, a preference can be deduced regarding SDGs 10, 12, 14, and 15, which received high evaluations from the majority of the stakeholders, as evident in the heatmap and an evaluation around "high" in the final ranking (Figure E.6). In fact, life on land and below water (SDGs 15 and 14) were prioritised the most, indicating that stakeholders are mostly concerned about the effects of climate change on ecosystems and biodiversity, as well as how human behaviour affect the broader environment and life on it, especially correlated with how humans treat resources (SDG 12). This output is interesting as few modelling studies are found to have analysed impacts on biodiversity, while SDGs related to inequalities are not well covered in modelling studies, apart from a limited number of indicators (van Soest et al., 2019). On the latter front, the connection between broader and gender inequalities as well as poverty and the increase of vulnerabilities caused from climate change creates an interlinkage between SDGs 1, 5 and 10. However, in this study stakeholders' evaluations showed a large spread in the scale for these SDGs, with reduced inequalities ranking high, poverty eradication in the middle, and gender inequalities in the bottom. This difference is prone to two interpretations. First, it could express a genuine preference of SDG 10 as more important than the others, implying that by focusing on achieving broader social equality targets will promote progress in the others; but it could also reflect misconceptions and lack of knowledge about broader effects of climate change in societal issues. Considering that reduced inequalities indeed ranked high in the prioritisation leads to the conclusion that stakeholders do not ignore inequality issues altogether but provided a preference of what they consider most important to integrate in the formalised modelling frameworks. The overall analysis may reflect that stakeholders chose to emphasise what is hitherto overlooked in modelling studies (e.g., SDGs 14 and 15), instead of aspects that are by default included in these studies (e.g., SDG 8). Despite the latter's widely acknowledged importance in promoting sustainable work and growth, this result adds to the debate on whether SDG 8 adequately focuses on decent work without conflict with the entire agenda (Rai et al., 2019).

To increase robustness of the final calculated ranking, the consensus level was also measured, at 81.4%, indicating a significant level of agreement despite the divergence of the stakeholders' backgrounds, enhancing the output that the four SDGs identified with a high evaluation are the majority's preferences. Despite this agreement, fluctuations of both the ranking and the evaluations are present among the different groups. The most notable example lies in the results of the national policymaking group, with assessments concentrated in the lower end of the scale. While the consensus of the group with the global solution was below average, internal consensus was very

high at around 87%. With concerns rising over the progress on achieving the targets of the goals (Sachs et al., 2019), this result opens the question on whether national governments are fully committed to achieving sustainability or even understanding the importance of following up on the 2030 Agenda.

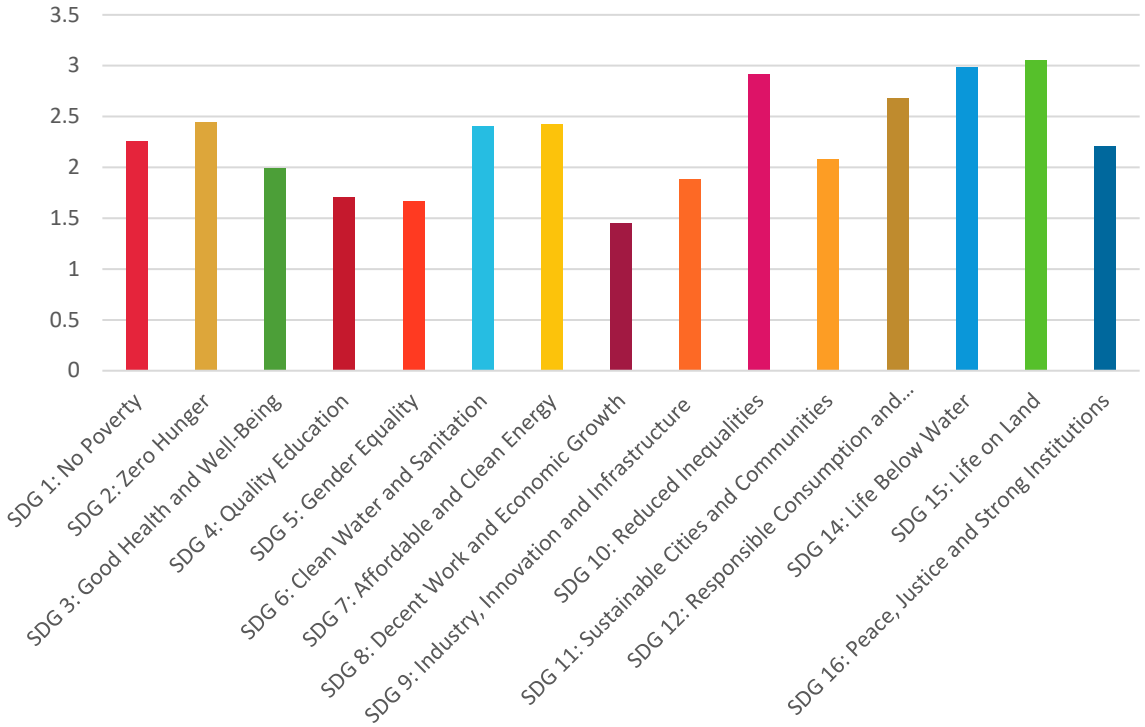


Figure E.6. Final Ranking and evaluations of the SDGs in the European workshop

In a direct response to the participants' priority of exploring the role of game-changing innovations (Napp et al., 2019; Wilson et al., 2019), an online survey was conducted with the participation of sustainability experts to assess the role that such innovations could have in the transition. Based on the responses from more than 250 experts, it emerged that demand-side innovations have relatively high potential, low risk and near-immediate availability, resulting in significant priority from participants. In particular, they singled out solutions related to transport (demand reduction, micromobility), and aspects related to the optimisation of the thermal needs of buildings. Out of the most known and large-scale technologies, solutions related to industry stood out, while solutions with a significant risk of delay such as negative emission technologies (e.g., DAC) and nuclear fusion received a low prioritisation.

The second workshop took place in Kenya, a developing country among those that are usually underrepresented in co-creation efforts, with the aim to gain insights from national stakeholders into the interplay between their country's climate action at the sectoral level on the one hand and sustainable development on the other. The starting point of the analysis was the need to design an effective and sustainable transition pathway, considering the five intertwined sustainability threats looming large in the country: climate change, lack of energy access, extreme poverty, poor cooking means/nutrition, and health challenges. To better address these threats in line with Paris Agreement targets and the 2030 Agenda for Sustainable Development, the 2-tuple group TOPSIS method was used, via two seemingly separate yet highly intertwined questionnaires. The first aimed at assessing the importance of the decarbonisation of economic sectors for four sustainable development axes, and the second at prioritising SDGs in relation to progress, ambition, as well as relation to climate action and the national context.

In the initial analysis, stakeholders assessed economic sectors in relation to how decarbonisation action can help make progress across the four sustainability axes. This exercise first indicated that, despite scientific focus mostly on power generation, all sectors were considered equally important, with the only exception being the services sector standing out as relatively insignificant, and with only the AFOLU sector featuring significant levels of agreement in its prioritisation. This preference was further confirmed in the subsequent analysis aiming to prioritise sustainability goals for both research on and policy in Kenya, with SDG15 (Life on land) ranking first as the most critical SDG, due to limited progress so far. These outputs trace back to the national and regional context, where limited electricity production and unreliable grid have prolonged the reliance on non-renewable biomass—especially fuelwood—and the employment of poor cooking methods leading to indoor air pollution and dangers to health and well-being. Within their evaluations, stakeholders highlighted the importance of not only AFOLU, but also biodiversity and ecosystem implications of the region's sustainable transition, especially orienting on biomass use and the switch to more efficient fuels. From a (modelling) research perspective, this exercise inter alia indicated that indirect links between society and climate change should also be considered outside the traditional energy access and mitigation metric-based evaluations commonly explored.

After modifying the research framework and integrating the two analyses, the modified sectoral decarbonisation exercise singled out the residential sector, which emerged as a top policy and research priority, while featuring the highest agreement levels among stakeholders. The AFOLU

sector, although now outranked, still remained fairly important as a result of the steadily strong consensus. This new prioritisation can also be linked to the prioritisation of the goal to achieve clean, affordable, and accessible energy (SDG7), which apart from SDG15 was the only other SDG receiving a high evaluation. This further highlighted stakeholders' concerns over the challenge of limited access to modern energy, notably despite the multitude of relevant legislative acts and policies. At the same time, stakeholders hinted that solutions in the shorter run (and research underpinning those) should not orient exclusively toward renewable energy diffusion, which can prove much harder than anticipated, but also consider demand-side transformations in the residential sector, which is insufficiently directed by modelling research for mitigation analysis and the current Kenyan policy context alike. Increasing energy efficiency with targeted research and improving fuel quality can be an effective way to promote renewables and address AFOLU challenges and concerns. Overall, future cross-sectoral policies in the AFOLU and residential sectors should consider implications on these issues and progress towards the respective SDGs.

On a policy level, the prioritisation provided by the stakeholders appears to be well-linked to the key challenges faced in Kenya despite years of legislation and efforts to address them. With less than a decade to implement an ambitious agenda by 2030, which inter alia includes absolute access to energy and clean cooking methods, efforts need to be significantly intensified. Recent policy initiatives shed light on energy efficiency, biomass, and smart agriculture, as well as a long quest to increase RES penetration. Notably, these are the topics stakeholders highlighted as priority in this research, indicating that—at least from a policy perspective—the country is headed in the right direction. But lack of policies was not an issue for Kenya in the past, but mostly coordination, dedication to the targets and comprehensibility from non-experts. The NCCAP update, expected in 2022, provides an excellent opportunity to integrate these strategies in a comprehensive and holistic climate action plan drawing from stakeholders' concerns as expressed in this study in a co-governance approach to effectively reshape the future direction of the country.

Finally, an FCM simulation was performed to understand the impacts of three types of crises (economic recession, health emergency, and international conflict) on the entire, highly intertwined SDG spectrum, as these impacts are perceived by IAM modellers and SDG experts. This was done with the aim to shed light on the impact of the different crises on SDGs, to understand the current modelling capacity to assess progress to sustainability that transcends climate action, and to gain insights into the divergences between the two groups' opinions.

The SDGs that were the most impacted by the three examined crises independently and in tandem with one another are SDGs 8 and 7, in most cases followed by SDGs that are directly linked to a crisis node (Figure E.7). The strong effects found for SDG8 have been expected as this node is directly affected by every crisis and is also highly interconnected in all mental maps, reflecting the strong indirect impacts that many SDGs may have on the economy. These results persist even by taking actual modelling capabilities into account, as current IAM models traditionally by definition have a strong focus on the economy (Stoddard et al., 2021). Similarly, SDG7 is well interconnected and directly affected by the health emergency and international conflict shocks. However, not all SDG nodes that are directly connected with a crisis are heavily impacted. For instance, SDG16 (peace, justice, and strong institutions) and SDG17 (partnerships) are directly affected by international conflicts but, overall, feature some of the lowest impact scores among all SDGs, especially in maps based on modellers' perceptions and/or constrained by modelling capacities. This counter-intuitive finding underlines the importance of adequate representation of SDG interconnections in IAMs to correctly assess SDG impacts, especially in the international conflicts front, with results hinting at IAMs being less adequate to incorporate such dimensions. SDG13 features the third highest impact in all maps underpinning the importance of climate change as a cornerstone in the Sustainable Development Agenda. However, the high scores across most SDGs especially from the experts' perspective hint at the importance of distributional impacts caused by the crises even on nodes that are not directly linked to a crisis node (e.g., SDG12) or where the impact of the crises is not obvious (e.g., SDG4).

Despite these broader and mostly universal trends across groups (with and without considering modelling capabilities), the impacts of the crises on SDGs largely depend on assumptions about the causal relationships among the SDGs, therefore on the difference between experts and modellers whose mental maps were examined, and the impact of perceived modelling capabilities. In other words, results show that impacts largely differ depending on whether these assumptions are based on the perceptions of IAM modellers or SDG experts and whether these perceptions are constrained by modelling capabilities. The map reflecting experts' input includes more interconnections among SDGs than the map based on modellers, thus increasing their overall importance, indicating that expert views can be helpful for improving SDG simulation in IAMs). While experts highlighted almost all SDGs as important, modellers presented clearer priorities and critically distinguished SDG8 (decent work and economic growth), SDG1 (no poverty), and SDG4

(quality education). However, introducing cut-offs based on modelling capabilities largely influenced the 'experts' map.

This analysis highlighted that modelling capabilities largely condense the perceived importance of SDGs from the experts' perspective, bringing it much closer to the modellers' map and respective resulting priorities. This finding has two important implications for IAM development. First, modellers' views about SDG interactions appear already constrained by the current or forthcoming capabilities of their models. As IAMs have been notoriously opaque in showing their inner workings (Bistline et al., 2021), the absence of detailed interactions among SDGs in IAMs may lead to the misinterpretation that these interactions do not exist or are insignificant. Second, while SDG experts can support modellers by providing a more holistic view of the interactions among SDGs, these views can be constrained by current modelling capacities. Tellingly, interconnections even in the 'experts' map with cut-offs remained relatively high only for SDG8, SDG13 (climate action), and SDG7 (affordable and clean energy), which are domains that most IAMs already cover sufficiently. As previously discussed, there is an increased need to place expert and non-expert stakeholders at the heart of the modelling process, and even move from simple stakeholder consultation to co-creation and co-production of knowledge. Since modellers seemingly anchor their priorities to what their models can—or are planned to soon be able—do, the participation of experts is critical to open up new research considerations and viewpoints. Nonetheless, the large similarities found between the experts' and modellers' views, when constrained by modelling capabilities, indicate that, unless new modelling capacities are developed, it will be the models that drive future IAM studies forward instead of the experts' priorities and/or actual policy and societal needs—even with their participation in the process.

Significant added value was also found in the proposed MCFCM framework itself, as reflected in the case of analysing the impacts of economic, health, and energy crises on SDGs. The introduced MCFCM method provides valuable additional insights on the robustness of the findings compared to a conventional FCM approach as well as on the variability of uncertainty among the different SDGs. Where differences between SDG nodes are already small, such as in maps based on expert and modeller views without modelling constraints, MCFCM shows that prioritisation of impacts is far from straightforward, as usually implied by purely ranking frameworks such as FCMs, since uncertainty ranges overlap among most SDGs. In maps where modelling capabilities constrained expert and modeller input, the highest impact is found for SDG8, SDG7, and SDG13, even under

uncertainty, which thus increases the robustness of this finding. Even in that case, however, prioritisation among them becomes less clear, as their uncertainty ranges also overlap. Additionally, SDG13 largely overlaps with SDG12 (responsible consumption and production) and SDG9 (industry, innovation, and infrastructure) in the modellers' mental map without cut-off, showing that these SDGs are also perceived by model developers and users to be highly prone to the crises. When model capacity cut-offs are introduced, some of the highest variability among SDGs in the case study is found. SDGs with the highest impacts have the widest uncertainty ranges and vice versa. Similar patterns were found in the expert-based map with cut-offs, while most SDGs had similar uncertainty ranges in the maps without cut-off. Also, despite their initial lower evaluation, the large uncertainty of specific SDGs (e.g., SDG2) can provide additional areas of interest since the impact of the crises in certain cases may be more substantial that initially anticipated, implying that a conventional FCM without Monte Carlo uncertainty analysis may overlook such cases. In summary, these results show that the MCFCM can be a powerful tool in the evaluation of FCM results providing additional insights compared to a conventional FCM approach on three fronts: (1) increasing the robustness of the calculated ranking and highlighting overlaps, (2) mitigating the bias of initial choices in the construction of a map, and (3) identifying nodes with high uncertainty and thus of interest irrespective of their conventional-FCM value (i.e., a small value in the non-Monte Carlo runs could shift focus away from some nodes that otherwise feature interesting response to uncertainty perturbations).

Among the types of uncertainties that were used in MCFCM—i.e., fluctuations on input parameters and on the weights of nodes describing the system—the former was shown to be less influential for the case study at hand. Fluctuations in the input parameters affected mostly nodes that were directly connected with them, while fluctuations on the weights led to uncertainty ranges in most of the system nodes and across all four maps. From an FCM point of view, results imply that the effects of uncertainty can vary based on the type of node and/or system component that is stressed and may not always propagate across the map. From a modelling perspective, in turn, findings suggest that parametric uncertainties related to how (SDGs) interactions are modelled can have a large impact on the results.

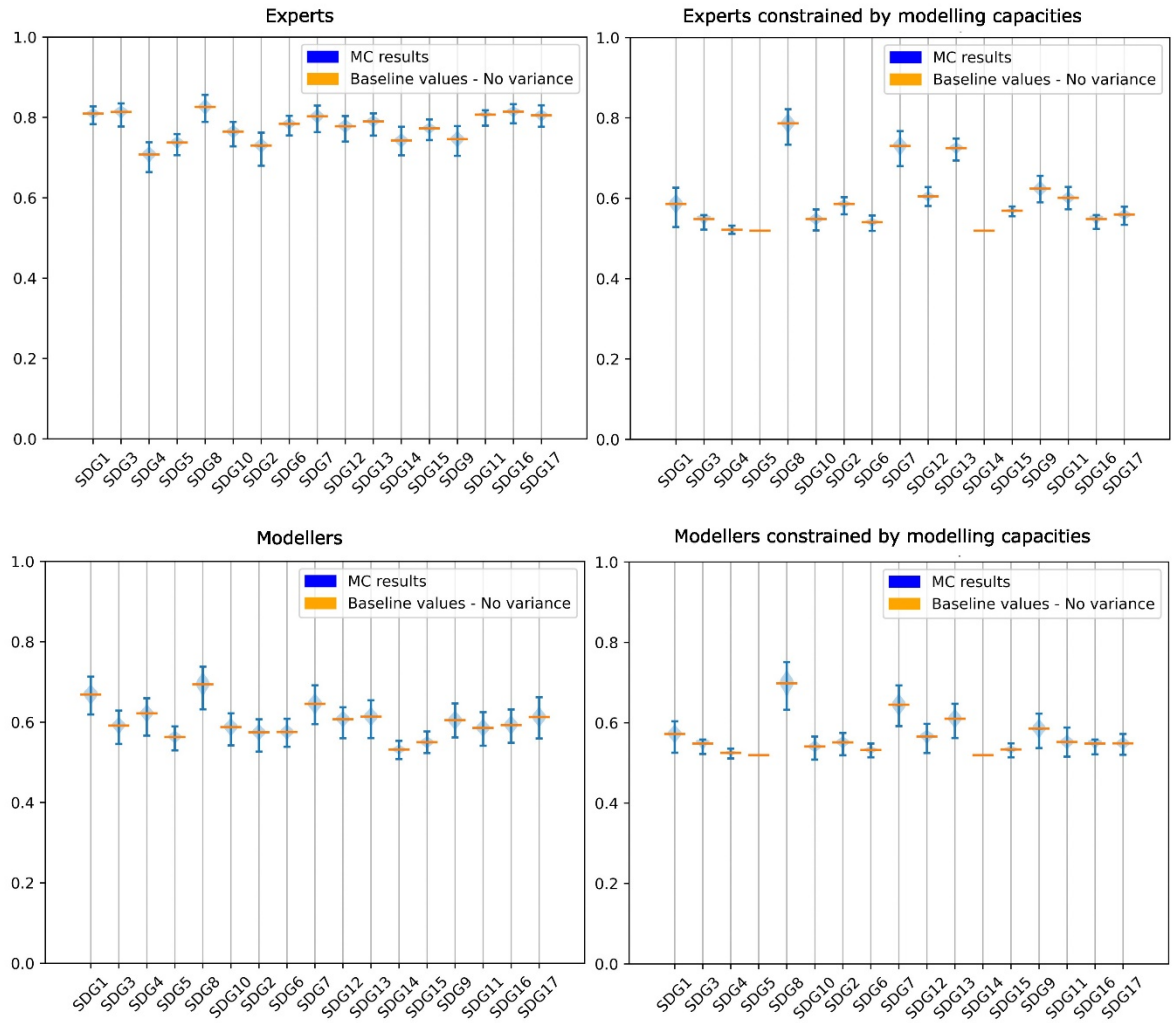


Figure E.7. Impact of the crises on each SDG based on the MCFCM uncertainty simulation.

Synthesising the information elicited from the co-creation and stakeholder engagement processes, apart from the need for a realistic policy baseline, a clear priority for the demand-side, and a need for expanding modelling capabilities to avoid anchoring to what the models can deliver instead of what the stakeholders require was observed. The SDG spectrum was used in different setups throughout most of the analyses as an indicative sustainability agenda to provide options for participants to shape priorities based on a wider range of issues that may concern them. In the pre-crisis priorities (mostly the European workshop), it emerged that participants considered the whole spectrum as important, but in particular singled out issues related to the wider protection of the environment such as biodiversity and ecosystems, as expressed by SDG15 (life on land) and SDG14 (life under water). Interestingly, the more economically oriented SDG8 did not receive much

attention, as a result of participants' sense that there is good progress towards this goal relative to others, and that it is relatively decently represented in IAMs, as GDP is among the key variables in most models. However, such a view ignores the fact that SDG8 also includes issues related to employment that also were of interest to the participants. As such, when the perceived importance of the interactions between each SDG within the broader spectrum of sustainability was considered, and disruptions related to modern crises introduced through the FCM simulation, stakeholder preferences began to shift towards more urgent economic needs/impacts, and emphasis was placed on priorities such as SDG8, but also SDG7 concerning access to clean and affordable energy.

E5. Transdisciplinary modelling of energy and climate policy aspects during crises

The knowledge and insights gained from the sociotechnical analyses and the co-creation processes were carried over to the last stage of the paradigm for responding to crises in energy and climate policy, that of transdisciplinary modelling. In particular, two such exercises were carried out: (a) on the supply side focusing on the COVID-19 crisis and optimising the allocation of investments to low-carbon technologies to facilitate a green recovery; and (b) on the demand side in response to high energy prices as a result of the energy crisis, by studying the monetisation of behavioural energy efficiency as a policy mechanism to incentivise consumers to change their everyday habits and reduce their consumption.

Optimisation of the allocation of green investments for the COVID-19 recovery methodologically drew from the latest conclusion of the co-creation process that model constraints should be addressed to incorporate stakeholders' views in order to respond to crises. Thus, GCAM (Calvin et al., 2019), an integrated assessment model, AUGMECON-R (Nikas et al., 2022), a multi-objective programming algorithm, Monte Carlo simulations for uncertainty management (Forouli et al., 2020), and an extensive employment factors database (expanding on Ram et al., 2020; 2022; Pai et al., 2021; Rutovitz et al., 2015), including disaggregated factors such as decline factors based on techno-economic data technologies and local factors for each country's ability to create jobs endogenously, are all integrated. The purpose was to simultaneously maximise job creation and reduce emissions in an optimisation approach that considers both socioeconomic and environmental goals, in contrast to an approach using a single IAM that would carry out simple cost optimisation under a set of emission constraints. In this way, this research responded to another key issue raised by the participants in the co-creation processes, that of employment and

the creation and management of investments, which emerged both directly as a preference in the dialogues and with the prioritisation of SDG8 and as a priority from socio-technical analyses (e.g., case study in Greece). The evaluation of the recovery scenarios was performed on top of a baseline scenario describing where the EU is headed given current (before COP26 in Glasgow) policies and therefore before the change of the EU's target to reduce emissions in 2030 by 55% compared to 1990. Again, such a reference scenario was an immediate response to the request from stakeholders for realistic baselines. At the same time, although at the EU level the immediate priority was immediate job creation (e.g., recovery fund packages should be fully utilised by 2026), the optimisation target of job creation was extended to 2030 as well (even opting for a tri-objective approach to simultaneously optimise for emissions reductions and short- and long-term employment opportunities), recognising from the socio-technical analyses that decisions taken urgently in times of crisis can have long-term consequences. Finally, while the main objective was to optimise clean energy generation technologies, where there is the greatest competition among technologies of the EU's green recovery package, the technological scope of the analysis was extended to include biofuels, again drawing from the socio-technical analyses and given the technology's complementary role. The full methodology followed in this exercise is presented in Figure E.8.

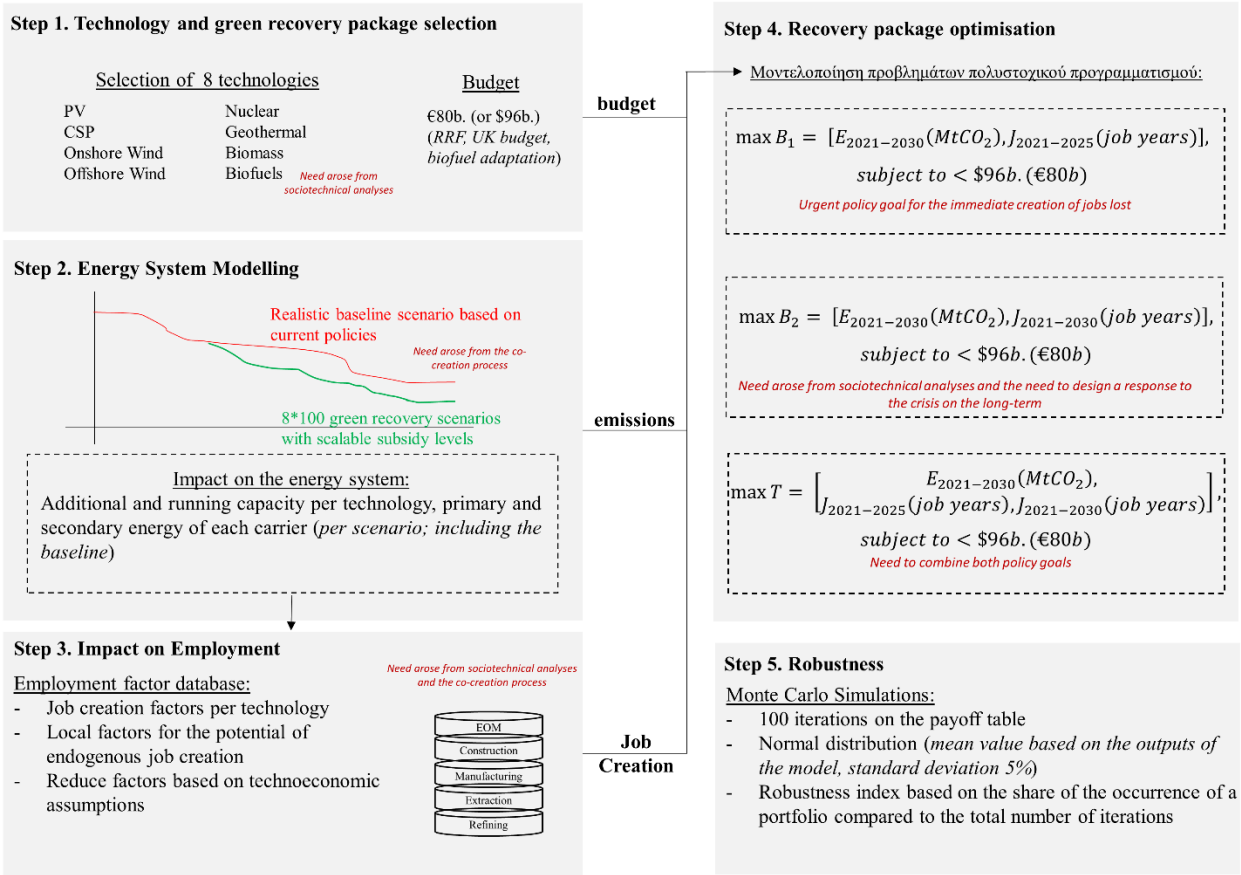


Figure E.8. Methodological approach on the optimal allocation of green recovery investments on low-carbon technologies.

First, it is evident that based on the policies before COP26, the old 40% target was achievable, but there was still a gap with the updated target and the objectives of the European Green Deal for reducing emissions by 55% (Figure E.9). Although this version was used as a baseline for the green recovery analysis, to fully respond to the stakeholders request the focus was expanded on the global level and on the post-Glasgow policies. The updated policies announced were found to likely lead to an increase of average global temperature by 2.1-2.4°C, the NDCs setting targets for up to 2030 to an increase of 2.0-2.2°C, and the long-term net-zero pledges to an increase of 1.7-1.8°C (end of the century temperature values; the ranges incorporate the multi-model uncertainty but not the uncertainty of the climate module) (Figure E.10). These results indicate that even though the strict Paris Agreement ambition of limiting temperature rise to is still not achieved 1.5°C, the official target of "well-below 2°C" appears to be within reach through the long-term pledges, which however are associated with significant feasibility concerns.

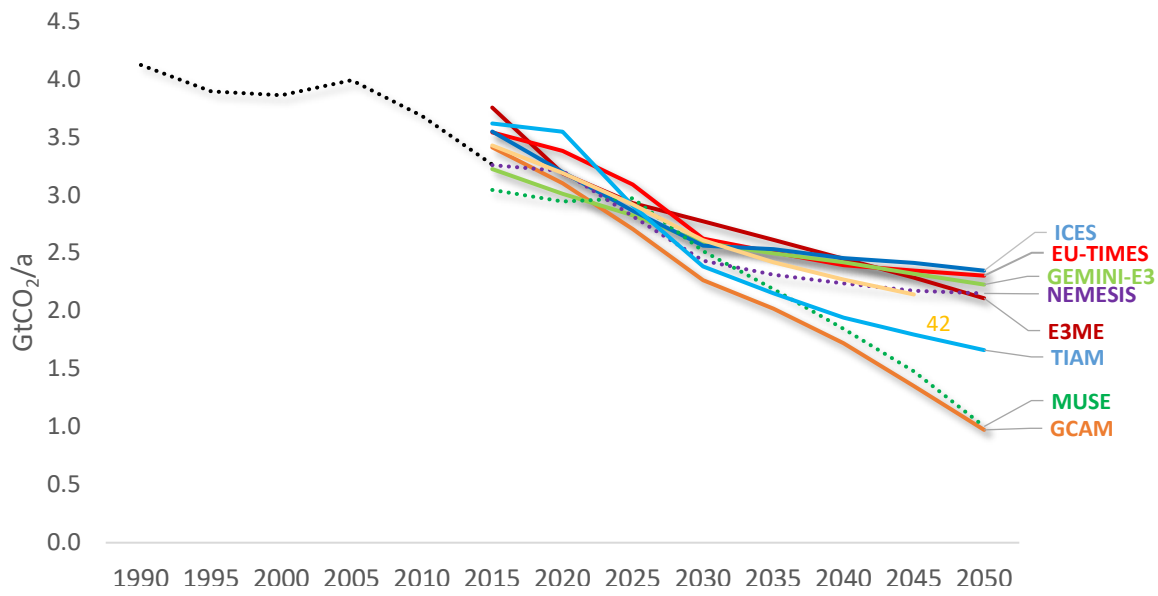


Figure E.9. Energy CO2 emissions in the EU in the "where is the EU headed scenario"

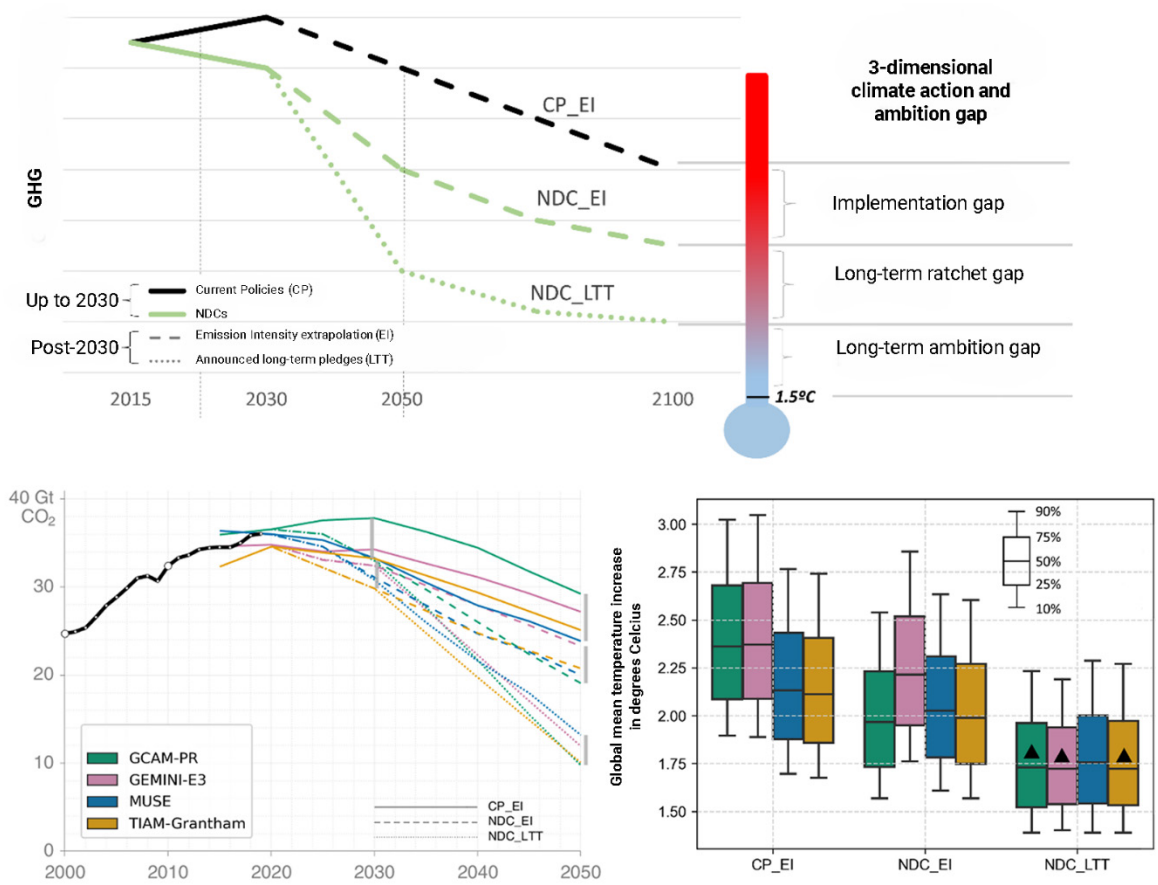


Figure E.10. The three gaps in climate action, emissions and temperature increase based on the "where is the world headed" after COP26.

First, a clear trade-off among all three objectives was determined, hinting at the conflicting nature of different clean energy projects as well as the challenge in reaching the maximum potential in terms of employment and CO2 emissions cuts. This trade-off is evident in the overall potential of the green RRF part, achieving approximately 400-770 MtCO2 emissions reduction by 2030, and 550-915 and 850-1,450 thousand energy-sector job-years created by 2025 and 2030 respectively, additionally to what the current policy framework is expected to achieve (Figure E.11). Second, the most challenging objective was maintaining employment gains by the end of the decade, as this was found to considerably undermine creating new jobs by 2025 and nearing the EU's NDC target. Indicatively, in the most robust portfolios, achieving about two-thirds of the maximum employment potential by 2030 (1.45 million job-years) enables hitting the upper bound of the other two objectives; aiming for the maximum potential of new energy-sector job-years in the energy sector was found at odds with climate objectives and the main goal of immediate socioeconomic returns on the RRF investments. Third, recovery policy plans could evidently benefit from investments in specific technologies, with a large chunk of optimal portfolios heading towards onshore wind, and then biofuels, nuclear power, and offshore wind.

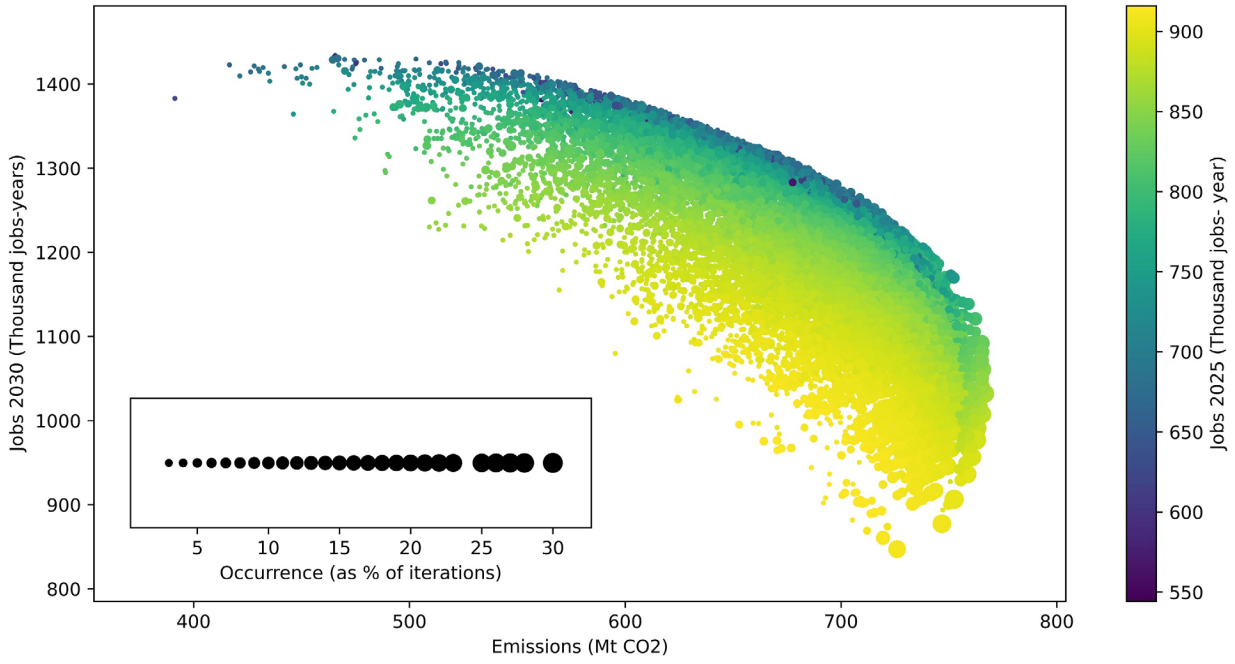


Figure E.11. Optimal green RRF subsidy portfolios in terms of further emissions cuts (horizontal axis) as well as long-term (vertical axis) and near-term (colour axis) employment gains in the EU

The exact investment mix should largely depend on the policy priorities (Figure E.12): larger investments in onshore wind appear to yield positive impacts on emissions cuts and near-term employment gains, while shifting towards the other three technologies (biofuels, nuclear, and offshore wind) can benefit larger energy-sector employment gains by the end of the decade. In general, investment portfolios favouring already cost-competitive technologies (such as onshore wind) may create the most jobs by 2025 but could quickly lose momentum, leading to negligible jobs gains onwards. This is because certain investments would only pull forward employment opportunities that could have been created anyway within the decade, driven by the policies currently in place. On the other hand, prioritising currently less cost-competitive technologies (such as offshore wind or advanced biofuels) could leverage the opportunity arising from the recovery package and benefit the maturity of these technologies, altering the current policy energy-system trajectory and boosting diversification of technological capacity with an ongoing running positive effect in the future and longer-lasting job opportunities. These trade-offs with the current policies should be an important consideration in interpreting the results of the study. For example, PVs appeared to be a less favourable investment, tracing back to their strong presence in the current policies baseline; however, this does not imply that solar deployment should not be reinforced throughout the decade, but rather that policy efforts should be aligned with the targets set (which includes large PV capacity additions) and complemented with the optimal investment mix identified that should ideally be differentiated from the path prescribed by the current policies. In fact, this is in line with the effective exploitation of windows of opportunity, as demonstrated in socio-technical analyses.

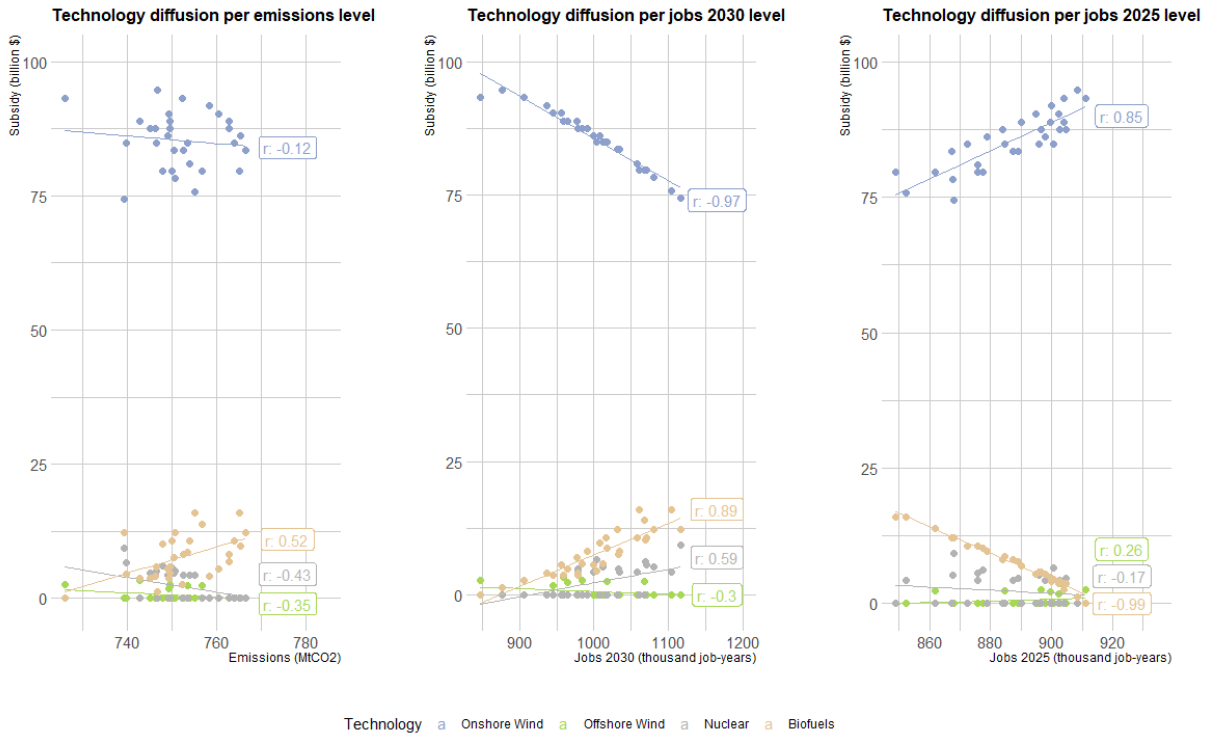


Figure E.12. Participation of each technology in the most robust (>20%) portfolios (subsidy) depending on the impact on emissions (left), employment by 2030 (centre), and employment by 2025 (right).

Finally, although an additional 200GW capacity from renewables by 2030 lies among the EU's intentions behind the green RRF package, only half of this potential is estimated to be achievable based on the available budget, if energy-sector employment should also be prioritised. To close this gap, different criteria should be considered and/or additional funds be raised, as there may be limited capacity to further increase the RRF's share towards clean energy production, considering that it is a multi-purpose mechanism.

In the demand-side modelling exercise, methodological extensions were also carried out to enhance modelling capabilities, based on the guidance of the co-creation process, with the aim to evaluate the monetisation of behavioural energy efficiency in Greece, in response to the energy crisis and the high fuel and energy prices. The focus on the demand side in this study drew directly from the stakeholders themselves (via both the deliberation in the European workshop and the global survey on game-changing innovations), as well as on the strong role of natural gas within the Greek system, a trend that emerged from the socio-technical analyses, and which, combined

with the energy price increases, required immediate demand interventions to respond to the crisis, since supply-side interventions are associated with a relative delay, especially in Greece. Contrary behavioural changes present a significant savings potential (Lopes et al., 2012; 2015) that is immediately available, if properly exploited. As such, from a methodological perspective, an innovative mechanism is presented that rewards behavioural energy efficiency in the form of a digital energy currency (ATOM) to provide incentives to users to reduce their energy consumption. This mechanism was soft-linked into DREEM (Stavrakas and Flamos, 2020), a bottom-up agent-based model for the simulation of the building sector in Greece, to study the energy and economic impacts of an energy management intervention where users are incentivised to adjust the temperature of the thermostat to save energy without violating their thermal comfort. Thus, in addition to expanding the capabilities of the models, a broader request from participants in the previous steps was considered, with regard to access to affordable energy (SDG7) and behavioural changes, in particular with emphasis on issues of optimising energy need for heating as shown in the online survey, an issue that emerged as the most relevant during the energy crisis. The outline of the soft-link between ATOM and DREEM is presented in Figure E.13.

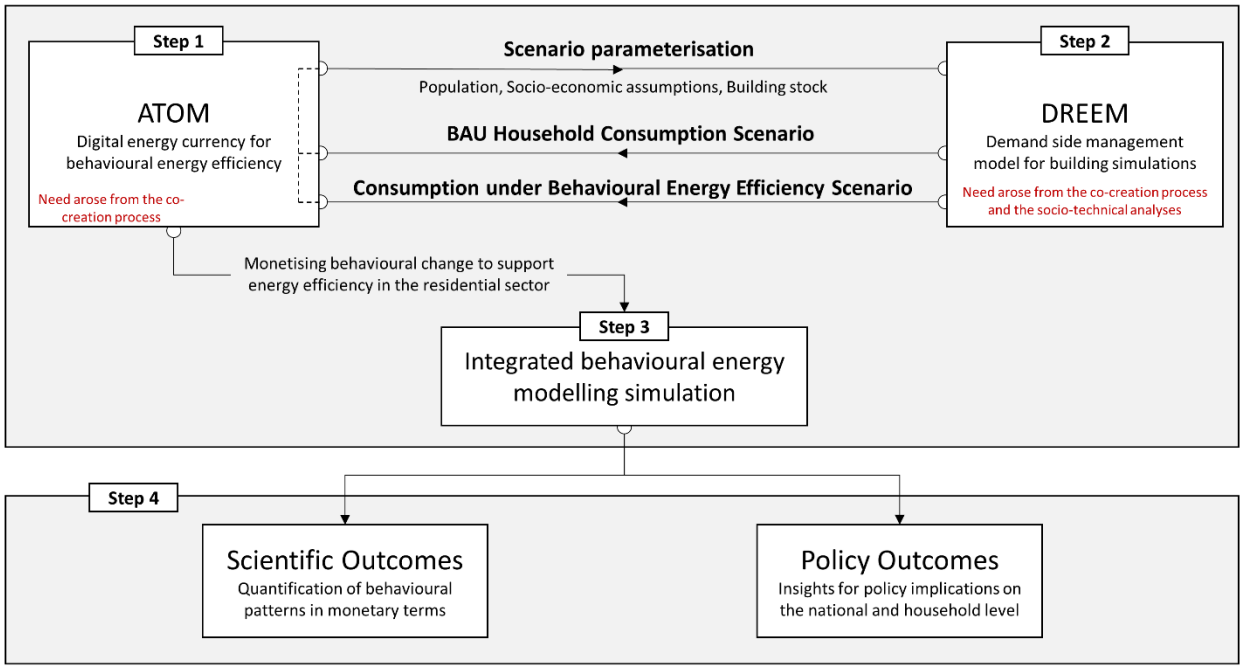


Figure E.13. Methodological approach for the soft-link of ATOM and DREEM for evaluating monetisation of behavioural energy efficiency as a policy mechanism.

Monetisation evidently can contribute to both quantifying arbitrary notions in monetary units and allowing the creation of financial gains from certain action(s). In particular, the reward mechanism was found to provide a lucrative incentive for certain categories of end-users to actively reduce their energy consumption and allows to quantify important social aspects in monetary units to then feed modelling exercises in support of energy policymaking, directly representing behavioural changes in the residential sector. It is also highlighted that currently in Greece there is a potential for energy savings of over 5% (estimated at around 2.5TWh) (Figure E.14), simply by incentivising users to manually adjust their indoor temperature through a low-cost analog thermostat and considering a moderate participation rate. For engaged households, energy savings could reach as high as 10%, and their financial gain as €200 on average (Figure E.15). This value is very close to the average monthly cost of energy in some European countries; for example, this comes slightly above the cost in the Netherlands (an important market during the energy crisis as a reference point), where for a 10% energy reduction the reward would have corresponded to a notable 11% of the annual energy bill. In a similar case, Ito (2015) assumed a 20% bill reduction to achieve 20% energy savings in the US, finding a positive causality between the reward and energy savings in some types of households, especially the lower-income ones. This indicates that monetisation of behavioural change can provide a reward that some categories of consumers consider adequate to trigger changes in their behaviour and associated energy savings and should therefore constitute a valuable policy option to consider, especially for those in the lowest income brackets and who are more prone to price increases due to the crisis and more broadly to the phenomenon of energy poverty.

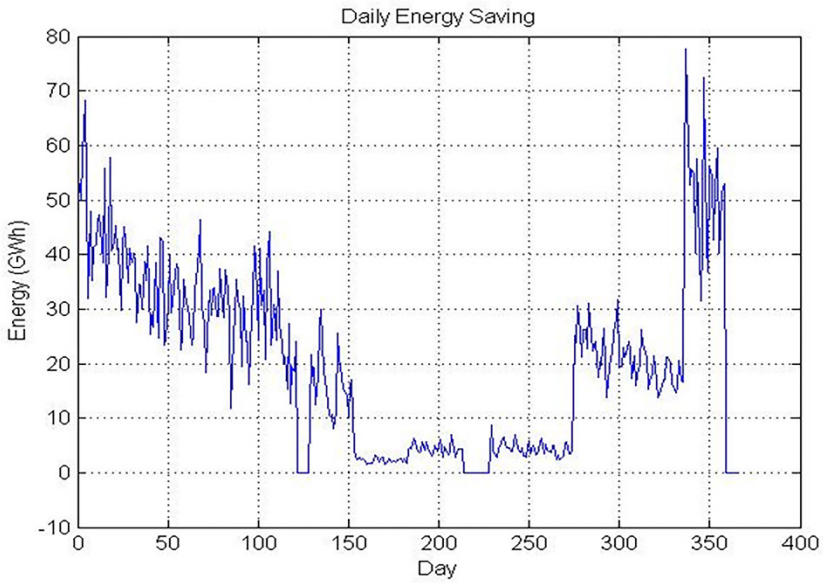


Figure E.14. National energy savings as a result of the energy management intervention.

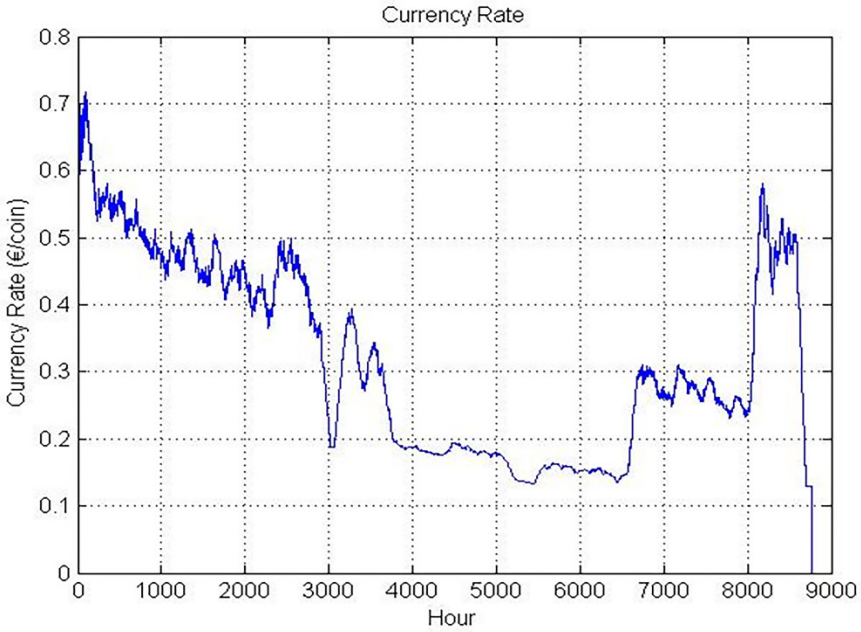


Figure E.15. Rate of the ATOM energy currency as a result of the energy management intervention at the national level.

Notably, from a national policy perspective, results indicate that even a targeted behaviour-oriented action can significantly and cost-effectively contribute towards the green recovery goals, requiring far less initial capital investments than the total amount envisaged to be allocated to energy

efficiency within the country's recovery and resilience plan. Furthermore, the estimated financial gain for engaged households is additional to the money that users would avoid paying due to the energy cuts achieved. Therefore, such reward schemes could create new opportunities for actors in the energy system like utilities, distribution system operators, or aggregators to enhance the energy services they provide to end-users, while at the same time achieving their energy efficiency obligations as part of the EU targets, as well as offer an immediate response mechanism to assist end-users in reducing their energy consumption.

The integration of DREEM and ATOM also offered insights on the simulation of behavioural changes front. It is observed that the fluctuations of the currency can express behavioural patterns, here showcasing a positive energy efficiency behaviour in winter months. This was reflected in higher currency values, as a result of the ATOM currency's capacity to represent behavioural change triggered by the end-users' assumed ability to save energy based on external thermal conditions. With this approach, such patterns can be translated in monetary terms making these important social aspects easier to include in models, and consequently for the energy modelling community to integrate in climate and energy policy scenarios. With the implementation of more energy management actions in modelling exercises, the curves of the ATOM rate have the potential to unravel additional patterns, which are not always predictable in terms of how consumers behave. In this sense, this quantification of behavioural change for energy efficiency in monetary units can be exploited per se from an energy planning perspective—in this research, this refers to the thermostat adjustment measure. But it can also be exploited in terms of adjusting energy efficiency-related variables in energy- and climate-economy models, thus making a necessary step forward in partly representing behavioural change in quantitative systems modelling for energy and climate policy (Mundaca et al., 2019).

E6. Concluding remark

Following the paradigm introduced, solutions could be provided for mitigating the effects and risks of the overlapping crises, helping to promote a sustainable transition while seizing opportunities created to support societal progress through job creation, emissions reductions, and support to households towards meeting their basic energy needs while addressing financial hurdles imposed by the raging energy prices. As a classic Chinese proverb emphasises, "*a crisis is an opportunity riding a dangerous wind*." From the perspective of the climate crisis and the challenges of the modern 'polycrisis', the contribution of the thesis to answering the question " *how can we effectively*

support energy and climate policy decisions using energy-climate-economy models in times of crises?" assists in building a new sustainable society, one which is more resilient to the challenges of the modern environment and which seizes the opportunities that open up and addresses the challenges that manifest. In that way, the paradigm could become a powerful tool as a go-to mechanism in response to potential crises in the future, to help (even proactively) towards addressing their impact in a timely and scientifically underpinned manner.

References (Extended Abstract)

Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. Climatic change, 95, 297-315.

Baptista, Luiz Bernardo, Roberto Schaeffer, Heleen L. van Soest, Panagiotis Fragkos, Pedro RR Rochedo, Detlef van Vuuren, Retno Gumilang Dewi et al. "Good practice policies to bridge the emissions gap in key countries." Global Environmental Change 73 (2022): 102472.

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. Research policy, 37(3), 407-429.

Bistline, J., Budolfson, M., & Francis, B. (2021). Deepening transparency about value-laden assumptions in energy and environmental modelling: improving best practices for both modellers and non-modellers. Climate Policy, 21(1), 1-15.

Borghesi, S., Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2015). Linking emission trading to environmental innovation: Evidence from the Italian manufacturing industry. Research Policy, 44(3), 669-683.

Calvin, K., Patel, P., Clarke, L., Asrar, G., Bond-Lamberty, B., Cui, R. Y., ... & Wise, M. (2019). GCAM v5. 1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. Geoscientific Model Development, 12(2), 677-698.

Chepeliev, M., Hertel, T., & van der Mensbrugghe, D. (2022). Cutting Russia's Fossil Fuel Exports: Short-Term Economic Pain for Long-Term Environmental Gain. The World Economy.

Doukas, H., & Nikas, A. (2021). Involve citizens in climate-policy modelling. Nature, 590(7846), 389-389.

Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. Expert Systems with Applications, 37(7), 5491-5497.

Doukas, H., Tsiousi, A., Marinakis, V., & Psarras, J. (2014). Linguistic multi-criteria decision making for energy and environmental corporate policy. Information Sciences, 258, 328-338.

Fisch-Romito, V., Guivarch, C., Creutzig, F., Minx, J. C., & Callaghan, M. W. (2021). Systematic map of the literature on carbon lock-in induced by long-lived capital. Environmental Research Letters, 16(5), 053004.

Forouli, A., N. Gkonis, A. Nikas, E. Siskos, H. Doukas, and C. Tourkolias. 2019. Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. Energy 170: 818-831.

Forouli, A., Nikas, A., Van de Ven, D. J., Sampedro, J., & Doukas, H. (2020). A multiple-uncertainty analysis framework for integrated assessment modelling of several sustainable development goals. Environmental Modelling & Software, 131, 104795.

Galende-Sánchez, E., & Sorman, A. H. (2021). From consultation toward co-production in science and policy: A critical systematic review of participatory climate and energy initiatives. Energy Research & Social Science, 73, 101907.

Gambhir, A., Butnar, I., Li, P. H., Smith, P., & Strachan, N. (2019). A review of criticisms of integrated assessment models and proposed approaches to address these, through the lens of BECCS. Energies, 12(9), 1747.

Gambhir, A., Ganguly, G., & Mittal, S. (2022). Climate change mitigation scenario databases should incorporate more non-IAM pathways. Joule, in press.

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research policy, 31(8-9), 1257-1274.

Geels, F. W. (2013). The impact of the financial–economic crisis on sustainability transitions: Financial investment, governance and public discourse. Environmental Innovation and Societal Transitions, 6, 67-95.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. Research policy, 36(3), 399-417.

Geels, F. W., Berkhout, F., & Van Vuuren, D. P. (2016). Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. Nature climate change, 6(6), 576-583.

Geels, F. W., Pereira, G. I., & Pinkse, J. (2022). Moving beyond opportunity narratives in COVID-19 green recoveries: A comparative analysis of public investment plans in France, Germany, and the United Kingdom. Energy Research & Social Science, 84, 102368.

Harmati, I. Á., Hatwágner, M. F., & Kóczy, L. T. (2023). Global stability of fuzzy cognitive maps. Neural Computing and Applications, 35(10), 7283-7295.

Hausfather, Z., & Moore, F. C. (2022). Net-zero commitments could limit warming to below 2° C. Nature, 247-248.

Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. Technological forecasting and social change, 76(4), 584-594.

Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. Technological forecasting and social change, 74(4), 413-432.

Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. IEEE Transactions on fuzzy systems, 8(6), 746-752.

Herrera, F., Martínez, L., & Sánchez, P. J. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. European Journal of Operational Research, 166(1), 115-132.

Höhne, N., Gidden, M. J., den Elzen, M., Hans, F., Fyson, C., Geiges, A., ... & Rogelj, J. (2021). Wave of net zero emission targets opens window to meeting the Paris Agreement. Nature Climate Change, 11(10), 820-822.

Hwang, C. L., & Yoon, K.. (1981). Methods for multiple attribute decision making. Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey, 58-191.

Ito, K. (2015). Asymmetric incentives in subsidies: Evidence from a large-scale electricity rebate program. American Economic Journal: Economic Policy, 7(3), 209-37.

Jackson, R. B., Friedlingstein, P., Le Quéré, C., Abernethy, S., Andrew, R. M., Canadell, J. G., ... & Peters, G. P. (2022). Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels. Environmental Research Letters, 17(3), 031001.

Kikstra, J. S., Vinca, A., Lovat, F., Boza-Kiss, B., van Ruijven, B., Wilson, C., ... & Riahi, K. (2021). Climate mitigation scenarios with persistent COVID-19-related energy demand changes. Nature Energy, 6(12), 1114-1123.

Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., ... & Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. Environmental innovation and societal transitions, 31, 1-32.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International journal of man-machine studies, 24(1), 65-75.

Koutsellis, T., Xexakis, G., Koasidis, K., Nikas, A., & Doukas, H. (2022). Parameter analysis for sigmoid and hyperbolic transfer functions of fuzzy cognitive maps. Operational Research, 22(5), 5733-5763.

Krohling, R. A., & Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. Expert Systems with applications, 38(4), 4190-4197.

Lau, M., Ricks, W., Patankar, N., & Jenkins, J. D. (2022). Europe's way out: Tools to rapidly eliminate imports of Russian natural gas. Joule, 6(10), 2219-2224.

Loorbach, D., Avelino, F., Haxeltine, A., Wittmayer, J. M., O'Riordan, T., Weaver, P., & Kemp, R. (2016). The economic crisis as a game changer? Exploring the role of social construction in sustainability transitions. Ecology and Society, 21(4).

Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2012). Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 4095-4104.

Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2015). Towards more effective behavioural energy policy: An integrative modelling approach to residential energy consumption in Europe. Energy Research & Social Science, 7, 84-98.

Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. Research policy, 31(2), 247-264.

Malerba, F. (2005). Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors. Economics of innovation and New Technology, 14(1-2), 63-82.

Malerba, F. (Ed.). (2004). Sectoral systems of innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge university press.

Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. Research policy, 37(4), 596-615.

Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. Research policy, 41(6), 955-967.

Martínez, L., & Herrera, F. (2012). An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. Information Sciences, 207, 1-18.

Mauser, W., Klepper, G., Rice, M., Schmalzbauer, B. S., Hackmann, H., Leemans, R., & Moore, H. (2013). Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability. Current opinion in environmental sustainability, 5(3-4), 420-431.

Meinshausen, Malte, Jared Lewis, Christophe McGlade, Johannes Gütschow, Zebedee Nicholls, Rebecca Burdon, Laura Cozzi, and Bernd Hackmann. "Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2° C." Nature 604, no. 7905 (2022): 304-309.

Mundaca, L., Ürge-Vorsatz, D., & Wilson, C. (2019). Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 C.

Nahm, J. M., Miller, S. M., & Urpelainen, J. (2022). G20's US $14-trillion economic stimulus reneges on emissions pledges. Nature, 603, 28-31.

Napp, T. A., Few, S., Sood, A., Bernie, D., Hawkes, A., & Gambhir, A. (2019). The role of advanced demand-sector technologies and energy demand reduction in achieving ambitious carbon budgets. Applied energy, 238, 351-367.

Nikas, A., Fountoulakis, A., Forouli, A., & Doukas, H. (2022). A robust augmented ε-constraint method (AUGMECON-R) for finding exact solutions of multi-objective linear programming problems. Operational research, 1-42.

Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., ... & Doukas, H. (2019). Greece: From near-term actions to long-term pathways–risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In Narratives of Low-Carbon Transitions (pp. 180-198). Routledge.

Nikas, A., Lieu, J., Sorman, A., Gambhir, A., Turhan, E., Baptista, B. V., & Doukas, H. (2020). The desirability of transitions in demand: Incorporating behavioural and societal transformations into energy modelling. Energy Research & Social Science, 70, 101780.

Pai, S., Emmerling, J., Drouet, L., Zerriffi, H., & Jewell, J. (2021). Meeting well-below 2 C target would increase energy sector jobs globally. One Earth, 4(7), 1026-1036.

Peters, G. P., Marland, G., Le Quéré, C., Boden, T., Canadell, J. G., & Raupach, M. R. (2012). Rapid growth in CO2 emissions after the 2008–2009 global financial crisis. Nature climate change, 2(1), 2-4.

Pisano, G. (2006). Profiting from innovation and the intellectual property revolution. Research policy, 35(8), 1122-1130.

Pollitt, H., Lewney, R., Kiss-Dobronyi, B., & Lin, X. (2021). Modelling the economic effects of COVID-19 and possible green recovery plans: a post-Keynesian approach. Climate Policy, 21(10), 1257-1271.

Rai, S. M., Brown, B. D., & Ruwanpura, K. N. (2019). SDG 8: Decent work and economic growth–A gendered analysis. World Development, 113, 368-380.

Ram, M., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2020). Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119682.

Ram, M., Osorio-Aravena, J. C., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2022). Job creation during a climate compliant global energy transition across the power, heat, transport, and desalination sectors by 2050. Energy, 238, 121690.

Realmonte, G., Drouet, L., Gambhir, A., Glynn, J., Hawkes, A., Köberle, A. C., & Tavoni, M. (2019). An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways. Nature communications, 10(1), 1-12.

Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. Human choice and climate change, 2(2), 327-399.

Roelfsema, M., van Soest, H. L., Harmsen, M., van Vuuren, D. P., Bertram, C., den Elzen, M., ... & Vishwanathan, S. S. (2020). Taking stock of national climate policies to evaluate implementation of the Paris Agreement. Nature communications, 11(1), 1-12.

Rogge, K. S., & Hoffmann, V. H. (2010). The impact of the EU ETS on the sectoral innovation system for power generation technologies–Findings for Germany. Energy Policy, 38(12), 7639-7652.

Rutovitz, J., Dominish, E., & Downes, J. (2015). Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology.

Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2019): Sustainable Development Report 2019. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN).

Sognnaes, I., Gambhir, A., van de Ven, D. J., Nikas, A., Anger-Kraavi, A., Bui, H., ... & Peters, G. P. (2021). A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. Nature Climate Change, 11(12), 1055-1062.

Sohaib, O., Naderpour, M., Hussain, W., & Martinez, L. (2019). Cloud computing model selection for e-commerce enterprises using a new 2-tuple fuzzy linguistic decision-making method. Computers & Industrial Engineering, 132, 47-58.

Stavrakas, V., & Flamos, A. (2020). A modular high-resolution demand-side management model to quantify benefits of demand-flexibility in the residential sector. Energy Conversion and Management, 205, 112339.

Tooze, A. (2021). *Shutdown: How Covid Shook the World's Economy.* Penguin Books.

Trutnevyte, E., Hirt, L. F., Bauer, N., Cherp, A., Hawkes, A., Edelenbosch, O. Y., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Societal transformations in models for energy and climate policy: the ambitious next step. One Earth, 1(4), 423-433.

Van Sluisveld, M. A., Hof, A. F., Carrara, S., Geels, F. W., Nilsson, M., Rogge, K., ... & Van Vuuren, D. P. (2020). Aligning integrated assessment modelling with socio-technical transition insights:

An application to low-carbon energy scenario analysis in Europe. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119177.

van Soest, H. L., van Vuuren, D. P., Hilaire, J., Minx, J. C., Harmsen, M. J., Krey, V., ... & Luderer, G. (2019). Analysing interactions among sustainable development goals with integrated assessment models. Global Transitions, 1, 210-225.

Veerkamp, C. J., Dunford, R. W., Harrison, P. A., Mandryk, M., Priess, J. A., Schipper, A. M., ... & Alkemade, R. (2020). Future projections of biodiversity and ecosystem services in Europe with two integrated assessment models. Regional Environmental Change, 20(3), 1-14.

Vögele, S., Grajewski, M., Govorukha, K., & Rübbelke, D. (2020). Challenges for the European steel industry: Analysis, possible consequences and impacts on sustainable development. Applied energy, 264, 114633.

Wei, G. W. (2010). Extension of TOPSIS method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. Knowledge and information systems, 25, 623-634.

Wilson, C., Pettifor, H., Cassar, E., Kerr, L., & Wilson, M. (2019). The potential contribution of disruptive low-carbon innovations to 1.5 C climate mitigation. Energy Efficiency, 12, 423-440.

Woolthuis, R. K., Lankhuizen, M., & Gilsing, V. (2005). A system failure framework for innovation policy design. Technovation, 25(6), 609-619.

Xexakis, G., Hansmann, R., Volken, S. P., & Trutnevyte, E. (2020). Models on the wrong track: Model-based electricity supply scenarios in Switzerland are not aligned with the perspectives of energy experts and the public. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110297.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ι.
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη εμφανείς στις μέρες μας, με ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα να διαμορφώνουν μια νέα πραγματικότητα. Η άποψη ότι η κλιματική αλλαγή πρέπει να αντιμετωπίζεται ως κρίση λαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή. Ταυτόχρονα, η έξαρση την πανδημίας COVID-19, ακολουθούμενη από μια ισχυρή ενεργειακή κρίση ως αποτέλεσμα γεωπολιτικών και στρατιωτικών συγκρούσεων ήρθε να επαναπροσδιορίσει και ενδυναμώσει την παραπάνω άποψη. Ως αποτέλεσμα, η έννοια της κρίσης διαφαίνεται ότι αποκτά κομβική σημασία στη χάραξη πολιτικής στις επόμενες δεκαετίες, δημιουργώντας ευκαιρίες για την προώθηση της πράσινης μετάβασης σε συνδυασμό με την αντιμετώπιση των κρίσεων. Κάτω από αυτές τις νέες συνθήκες, η επιστημονική κοινότητα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, συνήθως βασισμένη σε μοντέλα ενέργειας-κλίματος-οικονομίας, κλήθηκε να συμβάλει στην υποστήριξη αποφάσεων χωρίς ωστόσο να έχει τα κατάλληλα εργαλεία, με τα υπάρχοντα επιστημονικά υποδείγματα, να αδυνατούν, και σε πολλές περιπτώσεις να αποτυγχάνουν, να ενσωματώσουν τις ειδικές συνθήκες που διαμορφώνει μια κρίση, και πολύ περισσότερο ένας συνδυασμός από κρίσεις—παρά την πρόοδο στην οποία είχαν συμβάλλει υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η απάντηση στο κομβικό ερώτημα της εποχής αναφορικά με το «*πώς μπορούμε να υποστηρίξουμε αποτελεσματικά αποφάσεις ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων ενέργειας-κλίματος-οικονομίας σε περιόδους κρίσεων;*», μέσα από τη διαμόρφωση ενός νέου υποδείγματος υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, ειδικά διαμορφωμένου ώστε να ανταποκρίνεται στις ειδικές ανάγκες που επιβάλλουν κρίσεις διαφορετικής προέλευσης και εντάσεως ώστε να μετριαστούν οι επιπτώσεις τους χωρίς να διαταράσσεται, αλλά αντίθετα να ενισχύεται, η επίτευξη ζωτικών κλιματικών στόχων. Τοποθετώντας τη διεπιστημονικότητα στο κέντρο της παρούσας διατριβής, σκοπός είναι η αξιοποίηση και ενοποίηση γνώσης από μια πληθώρα επιστημονικών τομέων καθώς και η ενσωμάτωση αποφασιζόντων στις διαδικασίες χάραξης πολιτικής προκειμένου να καταστεί δυνατή η απόκριση είτε σε παρούσες κρίσεις, είτε σε κρίσεις που ενδέχεται έως και αναμένεται να έρθουν στο μέλλον.

1.2 Συμβολή Διατριβής

Βασική συμβολή της παρούσας διατριβής συνιστά η διαμόρφωση του διεπιστημονικού υποδείγματος συνδιαμόρφωσης και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής σε περιόδους κρίσεων. Πέραν της προστιθέμενης αξίας στην υποστήριξη πολιτικής κάτω από τις υφιστάμενες κρίσεις (COVID-19 και ενεργειακή κρίση), το υπόδειγμα έχει τη δυναμική και προβλέπεται να αποδειχθεί χρήσιμο στην αντιμετώπιση οποιασδήποτε κρίσης μπορεί να προκύψει στο μέλλον και καταστεί η ανάγκη να αντιμετωπιστεί, εντός του πλαισίου αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης. Συγκεκριμένα το υπόδειγμα αυτό διαμορφώνεται λαμβάνοντας υπόψιν χαρακτηριστικές αδυναμίες που εντοπίζονται στα υπάρχοντα υποδείγματα, ιδίως σε αυτά που βασίζονται αμιγώς σε εργαλεία μοντελοποίησης ενέργειας-κλίματος-οικονομίας, όπως τα ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης. Οι αδυναμίες αυτές, οι οποίες εμποδίζουν τα υπάρχοντα υποδείγματα να αποτελέσουν λύση στην αντιμετώπιση των πολλαπλών σύγχρονων κρίσεων, μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Ανεπίκαιρη υποστήριξη αποφάσεων:
  Οι χρονικές απαιτήσεις που συνεπάγεται η πραγματοποίηση αναλύσεων βασισμένων σε σύνθετα μοντέλα, καθώς και η έλλειψη βάσεων δεδομένων που τροφοδοτούν τις αναγκαίες υποθέσεις που απαιτούνται, δυσκολεύουν την έγκαιρη παροχή υποστήριξης αποφάσεων, με αποτέλεσμα οι αναλύσεις αυτές να καθίστανται ανεπίκαιρες σε ένα ρευστό περιβάλλον που δημιουργείται από τις κρίσεις.

- Ρεαλισμός:
  Περιορισμοί στον τρόπο που ενσωματώνονται φαινόμενα και διαστάσεις εντός των μοντέλων, υποθέσεων εργασίας, αλλά και αποτελεσμάτων ως απόρροια αυτών των περιορισμών εκθέτουν τα μοντέλα ως προς το ρεαλισμό τους με αποτέλεσμα να αμφισβητείται η αξιοπιστία τους από τους αποφασίζοντες, ειδικά σε περιόδους κρίσεων.

- Συνάφεια:
  Οι προαναφερόμενοι περιορισμοί, μειώνουν σημαντικά τον χώρο παρέμβασης των μοντέλων, με αποτέλεσμα να μπορούν να συμβάλλουν απαντώντας ερωτήματα που τις περισσότερες φορές δεν συνάδουν με τα αιτήματα και τις ανάγκες των αποφασιζόντων.

Απαντώντας σε αυτά τα κομβικά ζητήματα, το υπόδειγμα που παρουσιάζεται συνδυάζει και συμβάλλει σε πολλαπλούς επιστημονικούς τομείς, βασιζόμενο στο τρίπτυχο «παρελθόν-παρόν-μέλλον» προκειμένου να αμβλύνει τις παραπάνω αδυναμίες. Έτσι, πέρα από τον κεντρικό άξονα που αποτελεί την παρουσίαση του διεπιστημονικού υποδείγματος (Συμβολή Ι), η διατριβή συμβάλλει σε τρεις αλληλεξαρτώμενους άξονες:

1ος Άξονας: Ιστορική επίδραση παρελθοντικών κρίσεων υπό το πρίσμα κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων (Συμβολή ΙΙ)

Ο άξονας αυτός συμβάλλει στην αξιοποίηση γνώσης από την θεωρία μεταβάσεων και τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις, προκειμένου να αναλυθούν επιπτώσεις που πηγάζουν από παρόμοιες κρίσεις στο παρελθόν, και την επίδραση που είχαν αυτές σε ιστορικές μεταβάσεις βιωσιμότητας. Στο πλαίσιο της διατριβής, μελετώνται δευτερογενή ιστορικά δεδομένα από χώρες όλου του κόσμου, συμπεριλαμβανομένων ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων κρατών σε διάφορες ιστορικές συνθήκες. Συνολικά μελετώνται και καταγράφονται ιστορικές συγκριτικές μελέτες περίπτωσης από 7 χώρες, εκπροσωπώντας τους πλέον κομβικούς ενεργειακούς τομείς (ηλεκτροπαραγωγή, μεταφορές, βιομηχανία, βιοενέργεια) (Συμβολή ΙΙ.1), αλλά και ένα εύρος κρίσεων και ευρύτερων συστημικών πιέσεων και διαταραχών. Έμφαση δίνεται σε παράθυρα ευκαιρίας που δημιούργησαν κρίσεις όπως η πετρελαϊκή το 1973 και η οικονομική το 2008-2009, πώς αξιοποιήθηκαν ή όχι ευκαιρίες που προέκυψαν από τις κρίσεις για να προωθηθούν βιώσιμες μεταβάσεις, μηχανισμοί κλειδώματος σε μη βιώσιμες συμπεριφορές και εν γένει η καταγραφή εμποδίων ή μηχανισμών επιτάχυνσης μεταβάσεων.

Ταυτόχρονα, πραγματοποιούνται δύο μεθοδολογικές συμβολές στο πλαίσιο του εν λόγω άξονα σε ευρέως διαδεδομένες μεθοδολογίες των κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων. Συγκεκριμένα:

- πραγματοποιείται η ενοποίηση του Τομεακού Συστήματος Καινοτομίας (Sectoral Innovation System – SIS) με τα πλαίσιο Συστημικών Αποτυχιών/Σφαλμάτων (System Failures) (Συμβολή ΙΙ.2). Πέραν της ευρύτερης συνεισφοράς του νέου αυτού πλαισίου και της χρήσης του για τις μελέτες περίπτωσης της διατριβής, η ενοποίηση αυτή καθιστά δυνατή τη μελέτη οικονομικών τομέων υπό πτώση και συρρίκνωση, το οποίο εντοπίζεται για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία του πεδίου.
- ενισχύεται η διασύνδεση του Τεχνολογικού Συστήματος Καινοτομίας (Technological innovation System – TIS) με το μοντέλο Πολυεπίπεδης Ανάλυσης (Multi-level Perspective

– MLP), με τη διαμόρφωση σαφών συνόρων για την αξιοποίηση του νέου πλαισίου σε περιπτώσεις πολλαπλών υπο-τομέων και τεχνολογιών (Συμβολή ΙΙ.3).

2ος Άξονας: Ενσωμάτωση ενδιαφερόμενων μερών και συνδιαμόρφωση προτεραιοτήτων (Συμβολή ΙΙΙ)

Ο άξονας αυτός συμβάλλει στην ενσωμάτωση γνώσεων ενδιαφερόμενων μερών, εμπειρογνωμόνων και αποφασιζόντων στη διαδικασία χάραξης πολιτικής. Στο πλαίσιο της διατριβής πραγματοποιούνται εργαστήρια, συνέδρια και έρευνες/δημοσκοπήσεις προκειμένου να καταγραφούν οι προτιμήσεις και οι προτεραιότητες ενδιαφερόμενων μερών που προέρχονται από εύρος υποβάθρων (επαγγελματικού, επιστημονικού, κλπ.). Οι απόψεις αυτές συνιστούν ένα ευρύ φάσμα πεποιθήσεων που πολλές φορές μπορεί να έρχονται σε σύγκρουση, με τη διατριβή να δίνει ιδιαίτερη προσοχή στην διαμόρφωση ομοφωνίας. Συγκεκριμένα, η διατριβή συμβάλλει στη συγκέντρωση πρωτογενών δεδομένων με τις προτιμήσεις και πεποιθήσεις πάνω από 350 ενδιαφερόμενων μερών, τα οποία δεδομένα παρουσιάζονται για πρώτη φορά στο πλαίσιο της ερευνητικής εργασίας της παρούσας διατριβής (Συμβολή ΙΙΙ.1).

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων πραγματοποιούνται δύο μεθοδολογικές συμβολές στα πλαίσια του εν λόγω άξονα σε ευρέως διαδεδομένες μεθοδολογίες της επιχειρησιακής έρευνας:

- παρουσιάζεται μια καινοτόμα μεθοδολογία ομαδικής λήψης αποφάσεων συνδυασμένη με ένα νέο μέτρο υπολογισμού του επιπέδου ομοφωνίας ανάμεσα στους αποφασίζοντες βασισμένο στην ευρέως διαδεδομένη μέθοδο TOPSIS (2-tuple Group TOPSIS and consensus) (Συμβολή ΙΙΙ.2). Η νέα μεθοδολογία μπορεί να αξιοποιηθεί σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας (πάνω από 250 αποφασίζοντες), ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται η αξιοποίηση της νέας μεθόδου στο πλαίσιο μιας τοπολογίας εξαγωγής προτιμήσεων εμπλεκόμενων μερών με την ταυτόχρονη μείωση προκαταλήψεων που μπορεί να εμπεριέχουν οι απόψεις τους.
- βάσει της πρόσφατης προόδου στον τομέα της σύγκλισης, η διατριβή παρουσιάζει τον συνδυασμό των ασαφών γνωστικών χαρτών (Fuzzy Cognitive Maps – FCMs) με τη διαδεδομένη μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo (Monte Carlo Fuzzy Cognitive Maps – MCFCMs) (Συμβολή ΙΙΙ.3) για την ενίσχυση της ικανότητας τους να μελετήσουν ζητήματα αβεβαιότητας, ιδίως όταν κατά τον σχεδιασμό τους εμπλέκεται ο υποκειμενικός ανθρώπινος παράγοντας.

3ος Άξονας: Διεπιστημονική μοντελοποίηση (Συμβολή IV)

Κατόπιν τροφοδότησης από πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί κατά τους δυο προηγούμενους άξονες, σε αυτόν τον άξονα πραγματοποιούνται δύο μεγάλης κλίμακας αναλύσεις μοντελοποίησης σε ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο αναφορικά με την απόκριση στις δύο μεγάλες πρόσφατες κρίσεις, την πανδημία COVID-19 και την ενεργειακή κρίση αντίστοιχα (Συμβολή IV.1). Η διαδικασία της μοντελοποίησης συνάδει άρρηκτα με τις συλλεχθείσες πληροφορίες των προηγούμενων δύο αξόνων, όντας εναρμονισμένη και λαμβάνοντας υπόψιν κομβικές κοινωνικοτεχνικές διαστάσεις, ενώ ταυτόχρονα ενσωματώνει τις προτιμήσεις και απόψεις ενδιαφερόμενων μελών που συμμετείχαν στις διαδικασίες της διατριβής.

Ωστόσο, πέρα από την τροφοδότηση πληροφοριών από τους δύο προηγούμενους άξονες, και αναγνωρίζοντας αδυναμίες που ενσωματώνονται στο υπάρχον περιβάλλον της υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων, στο πλαίσιο της διατριβής πραγματοποιούνται μεθοδολογικές βελτιώσεις στα μοντέλα, τα οποία συνδυάζουμε με καινοτόμες τεχνικές προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα τους να απαντούν σε σημαντικά ερωτήματα που τίθενται κατά τη διάρκεια κρίσεων. Συγκεκριμένα:

- Η επέκταση μιας «από τα πάνω προς τα κάτω» μεθοδολογίας υπολογισμού του επιπέδου απασχολησιμότητας με βάση αποτελέσματα γύρω από το ενεργειακό σύστημα όπως προκύπτουν από ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης. Στο πλαίσιο αυτής της μεθοδολογίας επεκτείνεται και παρουσιάζεται μια αναλυτική βάση συντελεστών απασχολησιμότητας, η οποία ενσωματώνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί επαρκώς και μακροπρόθεσμα για την υποστήριξη αποφάσεων, καθώς περιλαμβάνει τους κύριους συντελεστές και ένα σύνολο υποστηρικτικών συντελεστών, όπως συντελεστές απόσβεσης με βάση τεχνοοικονομικά δεδομένα τεχνολογιών και τοπικούς συντελεστές για την ικανότητα κάθε χώρας να δημιουργήσει ενδογενώς θέσεις εργασίας (Συμβολή IV.2). Η μεθοδολογία αυτή αξιοποιείται ως ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στην μοντελοποίηση με χρήση ολοκληρωμένων μοντέλων αποτίμησης και τη βελτιστοποίηση με βάση τεχνικές πολυστοχικού προγραμματισμού.
- Η δημιουργία ενός καινοτόμου μηχανισμού επιβράβευσης εξοικονόμησης ενέργειας από συμπεριφορικές αλλαγές (ATOM) προκειμένου να κινητροποιηθούν οι τελικοί χρήστες ώστε να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, αλλά και να επιβραβεύονται δίκαια για την βέλτιστη ενεργειακή τους συμπεριφορά. Ο μηχανισμός αυτός

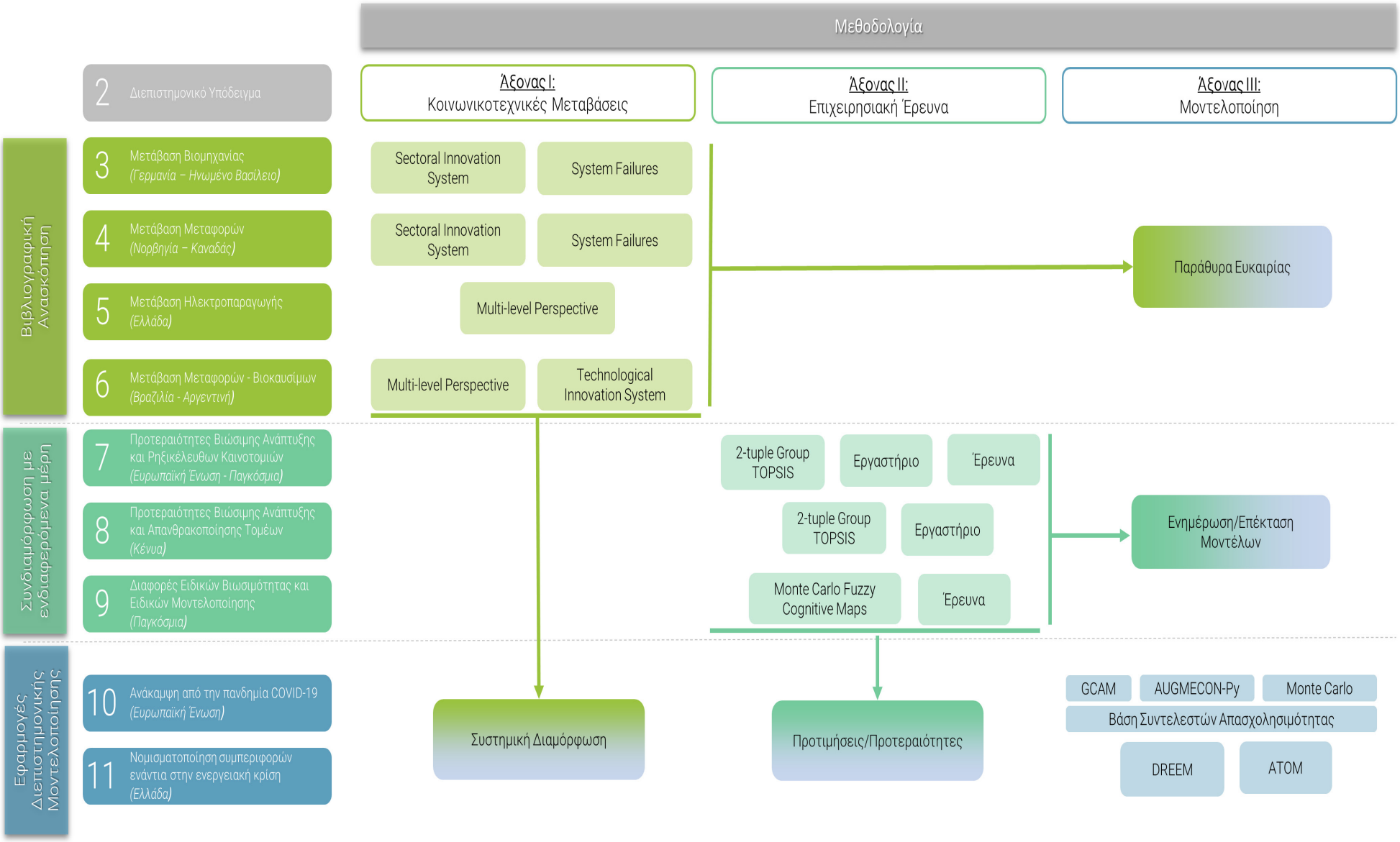
συνδυάζεται με ένα μοντέλο πρακτόρων εξειδικευμένο για την μοντελοποίηση του κτηριακού τομέα (DREEM) (Συμβολή IV.3).

Βασισμένη στις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις από 7 χώρες, στη συλλογή και ενσωμάτωση απόψεων από πάνω από 350 ενδιαφερόμενα μέλη, ειδικούς, αποφασίζοντες και φορείς χάραξης πολιτικής, και στην πραγματοποίηση 2 ασκήσεων μοντελοποίησης, η διατριβή δεν έχει σκοπό μόνο την παρουσίαση άλλου ενός υποδείγματος, αλλά την εφαρμογή του στην πράξη προκειμένου να φανεί η δυναμική της προτεινόμενης μεθοδολογίας και να καταδειχθεί η αξία της, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον στις κρίσεις που μπορεί να έρθουν.

Τέλος, τοποθετώντας τη διεπιστημονικότητα στο κέντρο της ερευνητικής διαδικασίας, η παρούσα διατριβή αποτελεί καινοτόμο σημείο συνάντησης ενός σημαντικού όγκου επιστημονικών τομέων (Συμβολή V) με αφετηρία τις κοινωνικές επιστήμες (θεωρία μεταβάσεων, κοινωνικοτεχνικά συστήματα, συστήματα καινοτομίας, συστημικά σφάλματα, υπολογιστική κοινωνιολογία), την επιχειρησιακή έρευνα (πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων, ομαδική λήψη αποφάσεων και ομοφωνία, ασαφείς γνωστικοί χάρτες, πολυστοχικός προγραμματισμός) και την υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων (ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης, μοντέλα ενεργειακών συστημάτων, μοντέλα κλίματος-οικονομίας, μοντέλα πρακτόρων).

1.3 Δομή Διατριβής

Η δομής της διατριβής χωρίζεται σε πέντε ενότητες, ακολουθώντας τη λογική του υποδείγματος και των αντίστοιχων αξόνων του. Έτσι, στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται το προτεινόμενο υπόδειγμα ύστερα από μια μελέτη επί των κενών των υφιστάμενων προτύπων και των αδυναμιών των μοντέλων να ανταποκριθούν σε κρίσεις με βάση την πρόσφατη βιβλιογραφία, στη δεύτερη ενότητα πραγματοποιείται παρουσίαση της βιβλιογραφικής ανάλυσης μέσω κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων, στην τρίτη ενότητα γίνεται παρουσίαση της ανάλυσης για την ενσωμάτωση ενδιαφερόμενων μερών και των προτιμήσεων/απόψεων τους, στην τέταρτη ενότητα παρατίθενται οι εφαρμογές διεπιστημονικής μοντελοποίησης, ενώ στην πέμπτη εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και προοπτικές, με βάση τη δομή που αποτυπώνεται στην Εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1. Δομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής

Συγκεκριμένα, πέραν του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου, στο Κεφάλαιο 2 αυτή η πρώτη ενότητα στοχεύει στην παρουσίαση του προβλήματος που διαπραγματεύεται η διατριβή, εστιάζοντας στις διαταραχές που έχουν προκαλέσει οι κρίσεις στην υποστήριξη αποφάσεων στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική και που κινδυνεύουν να θέσουν τον πλανήτη και τις επιμέρους περιοχές ή κράτη εκτός στόχου της Συμφωνίας του Παρισιού. Στη συνέχεια συζητούνται οι κατευθύνσεις που δίνονταν στον τομέα της μοντελοποίησης πριν και στις αρχές της πανδημίας, ενώ έμφαση δίνεται στις υπάρχουσες αδυναμίες των μοντέλων που δεν τους έχουν επιτρέψει να αποδειχθούν χρήσιμα και κομβικά στη διαμόρφωση ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών στο υφιστάμενο περιβάλλον κρίσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το προτεινόμενο υπόδειγμα βασισμένο στους τρεις άξονες με τρόπο τέτοιο ώστε να αποτυπώνεται η συμβολή του στην άμβλυνση των περιορισμών των υφιστάμενων μεθοδολογικών προσεγγίσεων και εργαλείων.

Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται ο κύριος όγκος της βιβλιογραφικής έρευνας και της συλλογής δευτερογενών βιβλιογραφικών και στατιστικών δεδομένων, στα οποία γίνεται επεξεργασία και ανάλυση με βάση τεχνικές της θεωρίας μεταβάσεων βιωσιμότητας και των κοινωνικοτεχνικών συστημάτων. Σκοπός είναι να αυξηθεί η κατανόηση της επίδρασης κρίσεων με βάση ιστορικά στοιχεία δίνοντας έμφαση σε «παράθυρα ευκαιρίας» που μπορεί να δημιουργήθηκαν και να (μην) αξιοποιήθηκαν, στο πλαίσιο της απόκρισης σε αυτές τις κρίσεις. Στην ενότητα αυτή πραγματοποιούνται συγκριτικές μελέτες σε 7 χώρες, εστιάζοντας σε διάφορους ενεργειακούς τομείς, όπου εξετάζονται στοιχεία σχετικά με ιστορικές μεταβάσεις και συστημικές διαμορφώσεις και η επίδραση σημαντικών κρίσεων και άλλων πιέσεων του εξωγενούς περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, το Κεφάλαιο 3 εστιάζει στη σύγκριση του βιομηχανικού τομέα της Γερμανίας και αυτού του Ηνωμένου Βασιλείου, δύο χώρες με ιστορικά ισχυρή βιομηχανία, και στην ανάλυση της επίδρασης της οικονομικής κρίσης και μιας ευρύτερης πίεσης από το εξωτερικό περιβάλλον που οδηγεί μια κοινωνική μετάβαση από τη βιομηχανία προς τις υπηρεσίες. Αφού παρουσιαστεί ένα νέο πλαίσιο κοινωνικοτεχνικών μεταβάσεων βασισμένο στο SIS και τα συστημικά σφάλματα, αναλύονται τα συστήματα των δύο χωρών με έμφαση σε «παράθυρα ευκαιρίας», υπαρκτούς μηχανισμούς κλειδώματος που εμφανίζονται, καθώς επίσης και εμπόδια που προκλήθηκαν στη μετάβαση ενός τομέα που θεωρείται δύσκολος στην απανθρακοποίηση ως αποτέλεσμα των παραπάνω κρίσεων. Στο Κεφάλαιο 4 αξιοποιείται το μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3 και πραγματοποιείται μια παρόμοια συγκριτική ανάλυση των συστημάτων μεταφορών της

Νορβηγίας και του Καναδά. Σε αυτήν την περίπτωση, έμφαση δίνεται σε πιέσεις του περιβάλλοντος με αφετηρία την πολύ ισχυρή βιομηχανία ορυκτών καυσίμων και στον τρόπο με τον οποίο οι πιέσεις αυτές επηρεάζουν υπαρκτά «παράθυρα ευκαιρίας». Στο Κεφάλαιο 5, δίνεται έμφαση στον τομέα ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας και ιδίως σε ζητήματα δίκαιης μετάβασης και απασχολησιμότητας στο πλαίσιο της προσπάθειας απολιγνιτοποίησης. Γίνεται χρήση του εργαλείου MLP προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της οικονομικής κρίσης στην απολιγνιτοποίηση καθώς και ο τρόπος με τον οποίο πρόσφατες πολιτικές μπορούν να χαρτογραφηθούν μέσα στο ιστορικό μονοπάτι. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, συγκρίνονται οι μεταβάσεις που σχετίζονται με τον τομέα των βιοκαυσίμων στις χώρες της Βραζιλίας και της Αργεντινής και αναλύονται οι επιπτώσεις τους στον τομέα των μεταφορών αλλά και στις αγροτικές καλλιέργειες και τον τομέα των τροφίμων. Αφού παρουσιαστεί η καινοτόμα διασύνδεση ανάμεσα στο MLP και το TIS, αναλύονται τα μονοπάτια των δύο χωρών κάτω από ένα μεγάλο αριθμό κρίσεων και πιέσεων με αφετηρία την Πετρελαϊκή κρίση του 1973, διάφορες οικονομικές κρίσεις και πολιτικές αναταραχές στην Λατινική Αμερική, αλλά και γεωπολιτικές διαμάχες, καθώς και πώς αυτές οι πιέσεις διαμόρφωσαν δύο τελείως διαφορετικά μονοπάτια στις δύο χώρες που είναι παραδοσιακά ανάμεσα στους πιο ισχυρούς παραγωγούς βιοκαυσίμων.

Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται η συλλογή πρωτογενών δεδομένων με τις προτιμήσεις, απόψεις αλλά και τις εμπειρικές γνώσεις ενδιαφερόμενων μερών και εμπειρογνωμόνων γύρω από ζητήματα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής προκειμένου να διαμορφωθούν προτεραιότητες, καθοδηγούμενες από τους εμπλεκόμενους γύρω από τους τομείς που επιθυμούν να μελετηθούν. Συνολικά, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ενότητας διοργανώνονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από ένα εργαστήριο σε Ευρωπαϊκό επίπεδο με τη συμμετοχή υψηλόβαθμων φορέων χάραξης πολιτικής και ο διαμοιρασμός μιας έρευνας σε παγκόσμιο επίπεδο, ένα εθνικό εργαστήριο στην Κένυα, οδηγώντας στην ενσωμάτωση των απόψεων περισσότερων από 350 ενδιαφερόμενων μερών. Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 7 αρχικά παρουσιάζεται η μεθοδολογία της 2-tuple Group TOPSIS συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου υπολογισμού του επιπέδου ομοφωνίας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τοπολογία, μέσω της οποίας αξιοποιείται η μέθοδος προκειμένου να μπορούν οι αποφασίζοντες να εκφράσουν τις προτεραιότητες τους γύρω από τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals – SDGs). Με βάση αυτή, παρουσιάζονται αποτελέσματα από το Ευρωπαϊκό εργαστήριο, τα οποία αφορούν θεματολογίες σχετικές με τη μοντελοποίηση που οι συμμετέχοντες τόνισαν ως κρίσιμες προς μελέτη όπως επίσης και με την προτεραιοποίηση

των SDGs. Τέλος, με βάση την ίδια μέθοδο αλλά και ζητήματα που αναδείχθηκαν από τα εμπλεκόμενα μέρη, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας έρευνας σε παγκόσμια κλίμακα όπου παρουσιάζονται οι απόψεις ειδικών σχετικά με ρηξικέλευθες καινοτομίες (game-changing innovations). Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από το εργαστήριο της Κένυας με έμφαση στις ιδιαιτερότητες που συνεπάγεται η εμπλοκή ενδιαφερόμενων μερών σε μια αναπτυσσόμενη χώρα της Υποσαχάριας Αφρικής. Ειδικότερα, επεκτείνεται η τοπολογία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 7, και αξιοποιώντας τη δυναμική των υβριδικών διοργανώσεων κυκλοφορούνται δύο ερωτηματολόγια σχετικά με την προτεραιοποίηση των SDGs αλλά και την κρισιμότητα απανθρακοποίησης συγκεκριμένων τομέων. Μέσω των δύο συνδεδεμένων ερωτηματολογίων, παρουσιάζεται η ικανότητα της μεθοδολογίας να οδηγήσει σε μείωση των προκαταλήψεων που ενσωματώνει ο ανθρώπινος παράγοντας. Τέλος, στο Κεφάλαιο 9 αρχικά παρουσιάζεται η διασύνδεση των FCM με την προσομοίωση Monte Carlo (MCFCM). Στη συνέχεια διαμορφώνονται χάρτες βασισμένοι στα SDGs και το επίπεδο διασύνδεσης και αλληλεπίδρασης μεταξύ των στόχων, όπως αυτά εκτιμώνται από ειδικούς στον ευρύτερο χώρο της βιωσιμότητας καθώς και ειδικούς στην μοντελοποίηση. Ταυτόχρονα, εντός των χαρτών λαμβάνονται υπόψη η ικανότητα των συνήθων μοντέλων ολοκληρωμένης αποτίμησης να αναλύσουν μια διασύνδεση. Εντός των χαρτών διαχέονται σήματα σχετικά με τις σημερινές κρίσεις, ώστε να αναλυθεί η επίδραση των κρίσεων στο χώρο της βιωσιμότητας, όπως την αντιλαμβάνονται ειδικοί με ευρύτερη εξειδίκευση καθώς και ειδικοί στη μοντελοποίηση, ενώ προσεγγίζεται και ο τρόπος με τον οποίο επιδρούν οι υφιστάμενες ικανότητες των μοντέλων.

Στην τέταρτη ενότητα παρουσιάζονται οι μελέτες βασισμένες σε μοντελοποιήσεις, οι οποίες έχουν τροφοδοτηθεί και διαμορφωθεί με πληροφορίες τόσο από τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις, όσο και από τις απόψεις των ενδιαφερόμενων μερών όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Το Κεφάλαιο 10 εστιάζει στην πολιτική απόκριση στην υγειονομική κρίση της COVID-19 σε ευρωπαϊκό επίπεδο, όπου αρχικά παρουσιάζεται η διασύνδεση ενός ολοκληρωμένου μοντέλου αποτίμησης (GCAM) με μία μέθοδο πολυστοχικής βελτιστοποίησης (AUGMECON-R) και την «από τα πάνω προς τα κάτω» μεθοδολογία υπολογισμού του επιπέδου απασχολησιμότητας. Στη συνέχεια, αναλύονται σενάρια κατανομής των κεφαλαίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) από το Πακέτο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας που αποσκοπούν στην πράσινη μετάβαση, προκειμένου να υπολογιστούν βέλτιστα χαρτοφυλάκια επενδύσεων σε επιλεγμένες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών, που μεγιστοποιούν τη μείωση εκπομπών και την βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη απασχολησιμότητα. Σχολιάζεται η ικανότητα της ΕΕ να

επιτύχει την ελάφρυνση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της πανδημίας COVID-19 σε συνδυασμό με τους κλιματικούς στόχους της περιοχής, ενώ τα αποτελέσματα τοποθετούνται σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο συγκριτικά με πιθανές πράσινες στρατηγικές ανάκαμψης μεγάλων οικονομιών. Το Κεφάλαιο 11 εστιάζει στην πλευρά της ζήτησης και στην αποτελεσματική απόκριση ενάντια στην ενεργειακή κρίση στην Ελλάδα, μια χώρα που κατά το 2022 παρουσίασε πολύ υψηλές τιμές καυσίμων και ηλεκτρισμού. Αρχικά, παρουσιάζεται ο καινοτόμος μηχανισμός επιβράβευσης της εξοικονόμησης ενέργειας από συμπεριφορικές αλλαγές (ATOM) καθώς και ο τρόπος διασύνδεσης με ένα μοντέλο πρακτόρων για τον κτηριακό τομέα (DREEM). Εξετάζεται η εξοικονόμηση ενέργειας και το κέρδος που μπορεί να καρπωθεί ένα νοικοκυριό που ενστερνίζεται βέλτιστες ενεργειακά συμπεριφορές υπό τη μορφή ρύθμισης της εσωτερικής θερμοκρασίας σε κατάλληλα επίπεδα μέσω ενός θερμοστάτη, χωρίς όμως να παραβιάζεται η θερμική άνεση. Έμφαση δίνεται στην ικανότητα του μηχανισμού να αποτελέσει σεβαστό κίνητρο σε νοικοκυριά προκειμένου να καταπολεμηθούν οι επιπτώσεις της ενεργειακής κρίσης χωρίς να επιδοτούνται έμμεσα ορυκτά καύσιμα.

Τέλος, στο κεφάλαιο 12 (πέμπτη ενότητα), παρουσιάζονται βασικά συμπεράσματα και προοπτικές περαιτέρω έρευνας.

Στο παράρτημα παρουσιάζονται οι δημοσιεύσεις σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά και τόμους βιβλίων, καθώς και οι τοποθετήσεις σε διεθνή συνέδρια με κριτές που στοιχειοθετούν την παρούσα διατριβή.

Κεφάλαιο 2. Οι αδυναμίες των υφιστάμενων μοντέλων υπό το πρίσμα των προκλήσεων της «πολυκρίσης» και η ανάγκη για ένα νέο διεπιστημονικό υπόδειγμα υποστήριξης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής

2.1 Η σημερινή κατάσταση και η «πολυκρίση»

Εδώ και δεκαετίες, οι επιστήμονες έχουν επικεντρωθεί στην αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης, με στόχο την προώθηση ή/και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για την αντιμετώπιση της μεγάλης πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής, με τις προσπάθειες μάλιστα να εντείνονται τα τελευταία χρόνια. Τα ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης (Integrated Assessment Models - IAMs) έχουν διαδραματίσει καίριο ρόλο, αποτελώντας το θεμέλιο λίθο σημαντικών επιστημονικών αξιολογήσεων αλλά και συμβάλλοντας στην υποστήριξη πολιτικών που έχουν αποτελέσει ορόσημα στην κλιματική δράση. Αντιπροσωπεύοντας τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-γης, τέτοια μοντέλα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των βέλτιστων από πλευράς κόστους μονοπατιών με βάση ένα σύνολο παραδοχών (που συνδυαστικά αποτελούν αυτό που αποκαλείται «σενάριο») για την επίτευξη μακροπρόθεσμων κλιματικών στόχων, όπως η συμφωνία του Παρισιού, που έχει θέσει ως στόχο τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2°C, και κατά προτίμηση στον 1.5°C.

Ωστόσο, μέχρι στιγμής η πορεία της κλιματικής δράσης δεν έχει καταφέρει τη διαμόρφωση μια πορείας ικανής για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν από τη συμφωνία του Παρισιού. Οι πολιτικές για το κλίμα πριν το COP26, εάν εφαρμοστούν πλήρως, πιθανότατα θα βάλουν τον κόσμο σε τροχιά 2.3-2.9 °C (Sognnaes et al., 2021), ενώ οι δεσμεύσεις μηδενικών εκπομπών και οι εθνικά καθορισμένες συνεισφορές (Nationally Determined Contributions - NDCs) φαίνεται να είναι σε θέση να προσεγγίσουν τον στόχο των 2°C (Hausfather and Moore, 2022; Meinshausen et al., 2022; Höhne et al., 2021; Sognnaes et al., 2021), επισημαίνοντας όμως τα κενά από τους στόχους που συμμορφώνονται με τη Συμφωνία (π.χ., υφιστάμενες πολιτικές) (Baptista et al., 2022), και ειδικά τον στόχο του 1.5°C. Αυτό δείχνει ότι οι τρέχουσες πολιτικές έως το 2030 πρέπει να εφαρμοστούν με γρήγορους ρυθμούς, να διασφαλιστεί ότι οι δεσμεύσεις μηδενικών εκπομπών είναι υλοποιήσιμες, και ταυτόχρονα να αυξηθεί περαιτέρω η φιλοδοξία.

Η πρόσφατη εμφάνιση ταυτόχρονων κρίσεων, ωστόσο, περιέπλεξε περαιτέρω αυτή την πορεία. Η διεθνής σύγκρουση, μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, έχει αναστατώσει τη γεωπολιτική της ενέργειας, με σημαντικές επιπτώσεις στις τιμές των ενεργειακών αγαθών (και των τροφίμων). Εν μέσω των προσπαθειών ανάκαμψης από τους κοινωνικοοικονομικούς

κλυδωνισμούς (π.χ., αλυσίδες εφοδιασμού) από την πανδημία της COVID-19, αυτό έχει προκαλέσει φόβους για μια διαφαινόμενη οικονομική ύφεση και ανησυχίες ότι τέτοιες κρίσεις θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη νέα νόρμα. Σε έναν κόσμο όπου διαμορφώνονται διαφορετικές αναπτυξιακές προτεραιότητες σε συνδυασμό με την ανάγκη για κλιματική δράση, το βάρος στους ώμους της επιστημονικής κοινότητας και ειδικότερα της κοινότητας που βασίζεται σε υποδείγματα βασισμένα σε μοντέλα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής γίνεται όλο και πιο βαρύ.

Παρά τις προφανείς αρνητικές επιπτώσεις των κρίσεων, η προσεκτική χάραξη πολιτικής και πιθανές αποδοτικές αντιδράσεις της αγοράς στις πρόσφατες κρίσεις θα μπορούσαν να σηματοδοτήσουν ένα σημείο καμπής και μια αλλαγή πορείας προς τη βιωσιμότητα. Σε αυτή την αλλαγή, αναλύσεις βασισμένες σε IAM μπορούν να παίξουν κομβικό ρόλο (van de Ven et al., 2022). Οι προσπάθειες ανάκαμψης από την COVID-19 θεωρήθηκαν κυρίως ως μια τέτοια ευκαιρία. Τελικά, όμως, οι τολμηρές υποσχέσεις για καλύτερη ανοικοδόμηση παρέμειναν ανεπαρκείς (Nahm et al., 2022), με τις προσπάθειες για οικονομική ανάκαμψη να οδηγούν τελικά σε ανάκαμψη (σημειώνοντας μάλιστα νέα ρεκόρ) των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHG) (Jackson et al., 2022). Αυτό, με τη σειρά του, θέτει το ερώτημα εάν τα υπάρχοντα υποδείγματα βασισμένα σε μοντέλα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής από μόνα τους μπορούν να μας καθοδηγήσουν επαρκώς σε αυτήν την «πολυκρίση» ('polycrisis') (Tooze et al., 2021) και να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες που διαμορφώνονται.

Παρά τη σημαντική τους συνεισφορά, οι περιορισμοί των μοντέλων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής έχουν συζητηθεί εκτενώς στην βιβλιογραφία σε συνδυασμό με πιθανές λύσεις (Ackerman et al., 2009). Μεταξύ αυτών, στην παρούσα διατριβή επισημαίνουμε δύο που σχετίζονται με το περιβάλλον της πολυκρίσης:

- Πρώτον, την υπεραπλουστευμένη εκπροσώπηση του κοινωνικού συστήματος στα εν λόγω μοντέλα, τα οποία δεν δίνουν προσοχή στην συστημική αδράνεια, τον χρόνο εξελίξεων, τους παράγοντες, τους θεσμούς ή τους κανόνες, και τις αντίστοιχες εκκλήσεις για ενσωμάτωση πληροφοριών από τη θεωρία των κοινωνικοτεχνικών μεταβάσεων (Geels et al., 2016).
- Και, δεύτερον, την υπό περιπτώσεις περιορισμένη κοινωνική συνεισφορά αναλύσεων με χρήση των μοντέλων, οι οποίες αποτυγχάνουν να ενσωματώσουν έννοιες όπως η επιθυμία για την μετάβαση, η νομιμοποίηση της μετάβασης στους πολίτες, καθώς και η

ενσωμάτωση γνώσεων από μη επιστημονικούς φορείς γνώσης (Galende-Sánchez and Sorman, 2021).

Σε αυτό το κεφάλαιο, επανεξετάζουμε και τα δύο επιχειρήματα, αυτή τη φορά μέσα από το πρίσμα της «πολυκρίσης», προκειμένου να διαπιστώσουμε την αδυναμία των υφιστάμενων υποδειγμάτων. Στη συνέχεια προτείνουμε ένα νέο διεπιστημονικό υπόδειγμα που ενισχύει την υποστήριξη ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών κάτω από τις πρόσφατες και συνεχιζόμενες κρίσεις με χρήση μοντέλων τροφοδοτούμενων από τη γνώση συστημάτων κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων και ενδιαφερόμενων μερών.

2.2 Επανεξέταση των περιορισμών των υφιστάμενων υποδειγμάτων υπό το πρίσμα της «πολυκρίσης»

<u>«Χαμένα» παράθυρα ευκαιρίας</u>

Μια κρίσιμη διάσταση από κοινωνικοτεχνική σκοπιά που συστηματικά υποεκπροσωπείται σε μεγάλο βαθμό στις υφιστάμενες μεθοδολογίες μοντελοποίησης έγκειται στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζονται οι ευκαιρίες για αλλαγή. Μια κοινή έννοια στη βιβλιογραφία της θεωρίας της μετάβασης είναι το «παράθυρο ευκαιρίας», δηλαδή ευκαιρίες που δημιουργούνται από κλυδωνισμούς και πιέσεις από το ευρύτερο τοπίο, οι οποίες έχουν δυνητικά αποσταθεροποιητικές τάσεις, επηρεάζοντας τις κυρίαρχες δομές με αποτέλεσμα να οδηγούν είτε στην εκκίνηση ή την επιτάχυνση μεταβάσεων (Geels and Schot, 2007). Για παράδειγμα, η σημερινή ενεργειακή κρίση έχει αναμφισβήτητα διαταράξει την κυριαρχία του καθεστώτος ορυκτών καυσίμων, δημιουργώντας ένα τέτοιο παράθυρο για την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης και την αντιμετώπιση των αυξημένων τιμών των καυσίμων. Ωστόσο, παρά τη διαισθητική αντίληψη ότι οι κρίσεις μπορεί να δημιουργήσουν ευκαιρίες για εγγενώς θετικές αλλαγές (π.χ. αφηγήματα 'build back better' στην περίπτωση της COVID-19), δεν είναι εξασφαλισμένο ότι ένα «παράθυρο ευκαιρίας» θα αξιοποιηθεί για την επιτυχή διατάραξη των σημερινών καθεστώτων ορυκτών καυσίμων. Χωρίς ισχυρή επιστημονική καθοδήγηση για την υποστήριξη των αποφάσεων πολιτικής και αγοράς, οι συστημικές δομές ενδέχεται να καταχραστούν τα «παράθυρα ευκαιρίας» για να ενισχύσουν τη δεσπόζουσα θέση τους και να αναπαράγουν διαδικασίες που διατηρούν την υφιστάμενη κατάσταση.

Αυτή η κατεύθυνση λείπει από τα υφιστάμενα υποδείγματα: ελλείψει ενσωμάτωσης συμπεριφορών των φορέων και εμπλεκόμενων μερών του συστήματος εντός των

μοντελοποιημένων συστημάτων, τέτοια «παράθυρα ευκαιρίας» μπορούν να προδιαγραφούν ρητά μόνο με τη μορφή κοινωνικοοικονομικών/τεχνολογικών παραδοχών, αντί να αποτελούν αποτέλεσμα της ανάλυσης. Ακόμη και αν αυτά τα παράθυρα εφευρέθηκαν ως σημείο εκκίνησης των ασκήσεων IAM, η πραγματική τους εκμετάλλευση (ή όχι) θα εξαρτιόταν από διάφορους παράγοντες (π.χ. πολιτικές επιλογές) περισσότερο από ό, τι από την προσομοίωση κόστους-οφέλους, κάτι που σημαίνει ότι ένα «παράθυρο ευκαιρίας» είναι κάτι περισσότερο από αλλαγές στις εισόδους, π.χ., στο κόστος μιας τεχνολογίας. Αυτό καταδεικνύει περαιτέρω ότι τα υφιστάμενα υποδείγματα επιτρέπουν την καταγραφή ενός περιορισμένου συνόλου διαδικασιών που σχετίζονται με τον μετριασμό των κρίσεων σε πραγματικές συνθήκες, υπονομεύοντας έτσι τη χρησιμότητά τους ως εργαλείου στήριξης πολιτικής στο πλαίσιο αυτό.

Στην πανδημία, για παράδειγμα, πρώιμες μελέτες με τη χρήση μοντέλων IAM έθεσαν το επιχείρημα για πράσινη ανάκαμψη. Αντιθέτως, η ενισχυμένη δραστηριότητα για την αναπλήρωση του χαμένου οικονομικού εδάφους (με την αναζωπύρωση της ζήτησης ενέργειας σε πολλαπλούς τομείς όπως η βιομηχανία) οδήγησε σε ταχεία ανάκαμψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ταυτόχρονα τα αρχικά επιδιωκόμενα πράσινα οικονομικά κίνητρα ανακατευθύνθηκαν σταδιακά προς επενδύσεις ορυκτών καυσίμων. Μεταξύ μιας ποικιλίας παραγόντων που καθοδηγούν πολιτικές αποφάσεις σε τέτοιες δύσκολες περιόδους, οι μελέτες αυτές απέτυχαν να πραγματευτούν κρίσιμες συνιστώσες και να υποστηρίξουν την χάραξη την βιώσιμης πολιτικής, είτε παραβλέποντας σημάδια προηγούμενων τέτοιων κρίσεων (όπως αυτά είχαν ήδη αναγνωριστεί από τους Peters et al., 2012), είτε υποθέτοντας μη ρεαλιστικές δαπάνες καθαρής ενέργειας (Pollitt et al., 2021), είτε προσκολλώντας σε υπερβολικά αισιόδοξες υποθέσεις για την επίδραση των αλλαγών συμπεριφοράς που προκλήθηκαν από τους περιορισμούς (lock-downs) (Kikstra et al., 2021), είτε απλώς αποτυγχάνοντας να παράσχουν έγκαιρη καθοδήγηση, δεδομένου του χρόνου που απαιτείται για να παραχθεί μια τέτοια ανάλυση.

Ομοίως, στην ενεργειακή κρίση του 2022, εν μέσω εκκλήσεων ώστε να αντιμετωπιστεί η κρίση σαν μια στρατηγική ευκαιρία για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης, οι συζητήσεις για της αυξήσεις στις τιμές της ενέργειας είδαν γρήγορα τους παγκόσμιους ηγέτες να δίνουν προτεραιότητα στις γκρίζες επενδύσεις (π.χ., υποδομές υγροποιημένου φυσικού αερίου) και στα σχέδια φορολόγησης της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έναντι των απροσδόκητων κερδών που δημιουργήθηκαν από τις αυξήσεις των τιμών των ορυκτών

καυσίμων, αποφάσεις με σοβαρές επιπτώσεις στην προώθηση επενδύσεων καθαρής τεχνολογίας. Οι εξελίξεις αυτές όχι μόνο κλείνουν αυτό το «παράθυρο ευκαιρίας» για τη βιώσιμη μετάβαση, αλλά θα μπορούσαν επίσης να προκαλέσουν νέους ανθρακικούς εγκλωβισμούς (Fisch-Romito et al., 2021). Όπως και στην COVID-19, οι γρήγορες προσπάθειες μοντελοποίησης και οι εξιδανικευμένες παραδοχές τους να κατανοήσουν και ενσωματώσουν την πλήρη εικόνα της σημερινής ενεργειακής κρίσης ακυρώθηκαν γρήγορα υπό το βωμό των εξελίξεων (π.χ. Chepeliev et al., 2022).

Όπως προκύπτει από την υποεκπροσώπηση των «παραθύρων ευκαιρίας» τόσο στην περίπτωση της COVID-19 όσο και στη σημερινή ενεργειακή κρίση, το τρέχον υπόδειγμα εμφανίζει περιορισμούς. Οι αμφισβητούμενες παραδοχές καθώς επίσης και οι αναλύσεις που μπορεί να καταφθάνουν μετά τη λήψη μιας απόφασης σε πολιτικό επίπεδο, υπογραμμίζουν τον κίνδυνο δημιουργίας πληθώρας σεναρίων τα οποία παρά την επιστημονική προστιθέμενη αξία τους, θα χαρακτηρίζονται από την καθυστερημένη υποστήριξη αποφάσεων, και την έλλειψη ρεαλισμού και συνάφειας. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω απόκλιση μεταξύ των μοντελοποιημένων μονοπατιών και των απόψεων υπευθύνων λήψης αποφάσεων (Xexakis et al., 2020), και άρα κινδυνεύοντας να υπονομευθεί σοβαρά η θέση των μοντέλων στη υποστήριξη της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής.

Αθέτηση της υπόσχεσης για «συνδιαμόρφωση»

Μεταφερόμενοι από την κοινωνικοτεχνική στην αμιγώς κοινωνική σκοπιά, η ικανότητα των IAMs να αντιπροσωπεύσουν ζητήματα που αφορούν κρίσεις, δεν αφορά μόνο τον συστημικό ρόλο των παραγόντων, αλλά και τις δυναμικές συμπεριφορές, τα κίνητρα, τις στρατηγικές και τις πρωτοβουλίες τους, που πολλές φορές διαπερνούν τα όρια των στενών οικονομικών ορθολογικά επιλογών. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα εύρεσης ενός οικονομικά βέλτιστου μονοπατιού κάτω από την υπόθεση ότι οι επιχειρήσεις υιοθετούν πολιτικές τηλεργασίας, ως συνέχεια των περιορισμών της COVID-19 (Cassetti et al., 2023). Στην πραγματικότητα, όμως, αυτή η συνήθεια δεν έχει συνεχιστεί στο βαθμό που υποστήριζαν οι υποθέσεις, καθώς πολλές επιχειρήσεις προτίμησαν να επανέλθουν στο προηγούμενο μοντέλο, ανεξαρτήτως των πλεονεκτημάτων που αποτυπώθηκαν από μια πιθανή μετάβαση. Ομοίως, ένα μοντέλο μπορεί να λύσει με την υπόθεση ότι οι πολίτες μειώνουν τη ζήτηση ενέργειας για θέρμανση, ανταποκρινόμενοι στις κυβερνητικές εκκλήσεις για την αντιμετώπιση της σημερινής ενεργειακής κρίσης (Lau et al., 2022). Αυτό δεν σημαίνει ότι τα παραγόμενα

μονοπάτια θα αποδειχθούν κοινωνικά ρεαλιστικά τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Σε αντίθεση με τις εξιδανικευμένες προσομοιωμένες, διαφορετικοί άνθρωποι ανταποκρίνονται διαφορετικά σε επείγουσες καταστάσεις και στόχους (και διατηρούν ή όχι τις νέες συνήθειες στο μέλλον) και οι δραστηριότητες μοντελοποίησης που έχουν την ευκαιρία να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την αντιμετώπιση διαφόρων κρίσεων πρέπει να αντιπροσωπεύουν αυτές τις διαφορετικές προοπτικές.

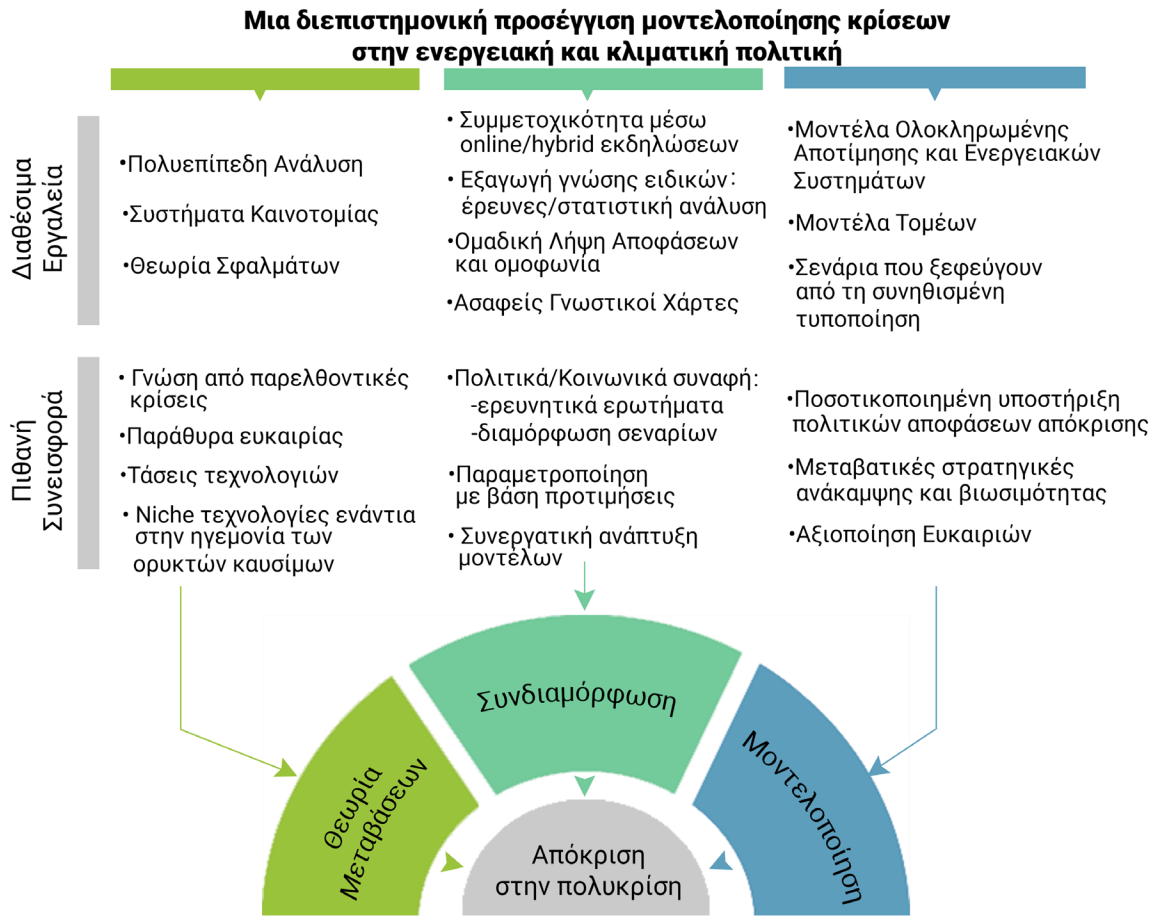
Η ρεαλιστικότατα και η κοινωνική αποδοχή των μελλοντικών μονοπατιών που παράγονται και ποσοτικοποιούνται από μοντέλα, επομένως, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους ανθρώπους που εκπροσωπούνται και συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες της μοντελοποίησης. Υπό αυτό το πρίσμα, η έννοια της «συνδιαμόρφωσης» γνώσης για τη βιωσιμότητα είναι παλαιότερη από την 5η έκθεση αξιολόγησης της IPCC (Mauser et al., 2013). Όμως, παρά την ύπαρξη θεωρητικών πλαισίων στη βιβλιογραφία (Trutnetvyte et al., 2019; Nikas et al., 2020), αυτά δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί εμπειρικά. Η διεπιστημονική μοντελοποίηση θεωρείται συνήθως πολύ δύσκολη απαιτώντας πολλούς πόρους για να εφαρμοστεί κάτι το οποίο ενισχύθηκε στην εποχή της COVID-19. Ως εκ τούτου, η ουσιαστική συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών στις διαδικασίες μοντελοποίησης έχει βασιστεί σε απλουστευμένες μορφές διαβούλευσης, ενώ η αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού τέτοιων προσεγγίσεων παραμένει συνήθως ως το φιλόδοξο επόμενο βήμα.

Συγκεκριμένα, μόνο λίγες αναλύσεις ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με χρήση μοντέλων (δηλαδή, οι μεγάλες ασκήσεις μοντελοποίησης που αποτελούν το θεμέλιο των της IPCC στη βιβλιογραφία) υπάρχουν και στις οποίες γίνεται αναφορά στη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών (Nikas et al., 2021). Συγκεκριμένα, οι Veerkamp et al. (2020) προέβλεψαν μελλοντικές αλλαγές στη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα με βάση συγκεκριμένα αφηγήματα/σενάρια που η δημιουργία των οποίων αξιοποίησε πληροφορίες που προέκυψαν από διαβούλευση, ενώ οι Realmonte et al. (2019) χρησιμοποίησαν τεχνικές εξαγωγής γνώσης από ειδικούς για να αναλύσουν ζητήματα σχετικά με τις δυνατότητες τεχνολογιών απευθείας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (Direct Air Capture - DAC), μιας τεχνολογίας αρνητικών εκπομπών, σε μια άσκηση με χρήση πολλαπλών μοντέλων σχετικά με τον ρόλο της τεχνολογίας σε μονοπάτια που επιτυγχάνουν τους 1.5C και 2C. Ομοίως, οι Roelfsema et al. (2020) προέβησαν σε χαρτογράφηση των εθνικών πολιτικών για το κλίμα με τη βοήθεια εμπειρογνωμόνων προτού αναλύσουν τον αντίκτυπό αυτών των πολιτικών στην εφαρμογή της συμφωνίας του Παρισιού. Όπως φαίνεται λοιπόν έχουν καταβληθεί πρόσφατες προσπάθειες για την καλύτερη και πιο

ολιστική συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών στη διαδικασία της συνδιαμόρφωσης, ωστόσο αυτές είναι περιορισμένες. Προκειμένου να επιτευχθεί η παροχή ρεαλιστικής γνώσης από μοντέλα σε περιόδους κρίσεων όσο και για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο η διεπιστημονικότητα να γίνει άλλη μια λέξη που χρησιμοποιείται αλλά δεν εφαρμόζεται στην πράξη, η συνδιαμόρφωση ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής με χρήση μοντέλων σε περιβάλλοντα υπό κρίση (ή πολυκρίση) πρέπει να επανεξεταστεί υπό το πρίσμα ενός εξατομικευμένου σε αυτό το περιβάλλον υποδείγματος.

2.3 Ένα νέο διεπιστημονικό υπόδειγμα μοντελοποίησης

Βασιζόμενοι στις τρεις έννοιες (κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις, συνδιαμόρφωση, μοντελοποίηση) που ενοποιούνται στα πλαίσια της διεπιστημονικότητας όπως έχουν προταθεί από τους Mauer et al. (2013), Geels et al. (2016), Trutnetvyte et al. (2019) και Nikas et al. (2020) αλλά δεν έχουν αποτυπωθεί συνδυαστικά και οι τρεις διαστάσεις με τόσο σαφή ενοποίηση, διακριτά όρια και συγκεκριμένη συνεισφορά, αλλά ούτε έχουν εφαρμοστεί εμπειρικά στην πράξη, αντί να προτείνουμε ακόμη μια διαφορετική θεωρητική τυπολογία/πλαίσιο, παρουσιάζουμε ένα εξατομικευμένο διεπιστημονικό υπόδειγμα αποτελούμενο από απλά βήματα σχετικά με τον τύπο των στοχευμένων εισόδων από τη θεωρία μεταβάσεων, τους μη επιστημονικούς παράγοντες και τη μοντελοποίηση από τα οποία μπορεί να επωφεληθεί η υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής κάτω από συνθήκες κρίσεων (Εικόνα 2.1). Πρόθεσή της παρούσας διατριβής είναι να αναδείξει και να παρουσιάσει στις επόμενες ενότητες πώς και γιατί τα εργαλεία που αξιοποιούνται σε αυτά τα βήματα μπορούν να συμβάλουν στην επικαιρότητα, τον ρεαλισμό και τη συνάφεια της πρακτικής μοντελοποίησης υπό το πρίσμα της «πολυκρίσης», απαντώντας στους περιορισμούς των υφιστάμενων πρακτικών/υποδειγμάτων μοντελοποίησης που αποτυπώθηκαν προηγουμένων.



Εικόνα 2.1. Το προτεινόμενο διεπιστημονικό υπόδειγμα

Αντλώντας από τη θεωρία των μεταβάσεων, οι μεθοδολογίες κοινωνικοτεχνικής ανάλυσης έχουν συμβάλει εδώ και καιρό στην παροχή μιας συστημικής προσέγγισης στην μελέτη των μεταβάσεων σε συστήματα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δημιουργώντας αφηγήματα που ενσωματώνουν ευρύτερους κοινωνικούς μετασχηματισμούς και έχουν τη δυνατότητα να ενημερώσουν ποιοτικά τον σχεδιασμό ρεαλιστικών σεναρίων μοντελοποίησης (van Sluisveld et al., 2020). Οι μεθοδολογίες αυτές (π.χ. MLP, TIS) έχουν διττή συμβολή στην έγκαιρη και ρεαλιστική ενημέρωση των διαδικασιών μοντελοποίησης στα πλαίσια της απαιτητικής προσπάθειας για την αξιολόγηση της απόκρισης στις υφιστάμενες κρίσεις. Πρώτον, εστιάζοντας στο παρελθόν, μπορούν να ρίξουν φως στις επιπτώσεις προηγούμενων κρίσεων (και τις αντίστοιχες αντιδράσεις σε αυτές), ή στα «παράθυρα ευκαιρίας» που αξιοποιήθηκαν ή έμειναν ανεκμετάλλευτα, και ως αποτέλεσμα αυτής της ιστορικής ανάλυσης να παράγουν πληροφορίες πέρα από τα απλά αφηγήματα ευκαιριών και να καθοδηγήσουν τη χάραξη χειροπιαστών στρατηγικών (Geels et al., 2022). Για παράδειγμα, το ενδεχόμενο οι

πολιτικές επιλογές που είχαν ως στόχο την ανάκαμψη της οικονομικής δραστηριότητας να προκαλέσουν ταυτόχρονη ανάκαμψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου δεν θα ήταν δύσκολο να προσδιοριστεί αν λαμβάνονταν υπόψη ιστορικές τάσεις όπως για παράδειγμα μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70, τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης ή τη Μεγάλη Ύφεση όπου παρατηρήθηκαν παρόμοιες τάσεις. Ως εκ τούτου αν η διαδικασία της μοντελοποίησης υποστηρίζεται και από και κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις μπορεί γρήγορα να συμβάλλει στην εισαγωγή τέτοιων κατευθύνσεων ή και επιλογών στο σχεδιασμό σεναρίων. Δεύτερον, μέσα από τη συστημική προσέγγιση που εισάγουν, οι μεθοδολογίες αυτές μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διαμόρφωσης του συστήματος όπως για παράδειγμα το ρόλο και τη συμπεριφορά των παραγόντων ή μερών του συστήματος, των δικτύων επικοινωνίας και των συνήθειων ή προτύπων σε μια μετάβαση (π.χ. διάδοση τεχνολογίας). Έτσι μπορούν να λειτουργήσουν ως μορφή ελέγχου και να καθοδηγήσουν μοντελοποιημένα μονοπάτια (π.χ. πόσο ρεαλιστική είναι μια προβλεπόμενη επέκταση της χρήσης μιας τεχνολογίας με βάση ιστορικά μοτίβα αλλά και την παρούσα κατάσταση) και να συμβάλλουν στην ενσωμάτωση καμπυλών υιοθέτησης (π.χ. έναντι μόνο καμπυλών εξέλιξης τεχνοοικονομικού κόστος), καθώς επίσης να συμβάλλουν στην εισαγωγή της έννοιας της αποδοχής μιας μετάβασης από το σύνολο της κοινωνίας (Nikas et al., 2020).

Από την άλλη πλευρά, η συμμετοχή μη επιστημονικών φορέων γνώσης και η παροχή/εξεύρεση των προτεραιοτήτων και προτιμήσεων τους μέσω διαδικασιών «συνδιαμόρφωσης» είναι καίριας σημασίας για την καθοδήγηση της διαδικασίας της μοντελοποίησης ώστε να αντιμετωπιστούν θέματα πολιτικής και κοινωνικής σημασίας. Οι περιορισμοί λόγω COVID-19, παρά τις δυσκολίες που εισήγαγαν σε αυτές τις προσπάθειες, ταυτόχρονα ανέδειξαν και νέες προσεγγίσεις στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, καθιερώνοντας βέλτιστες πρακτικές, η συμμετοχή στις οποίες ήταν πιο βιώσιμη (π.χ. από οικονομική, περιβαλλοντική και συμμετοχική σκοπιά), εκτεταμένη, και έχει τη δυνατότητα να παρέχει μηνύματα για την περίοδο μετά την πανδημία. Οι διαδικτυακές και υβριδικές εκδηλώσεις και έρευνες κέρδισαν έδαφος τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τα lockdown, καθώς επέτρεψαν τη συμμετοχή σημαντικά μεγαλύτερων ομάδων στις διαδικασίες διαβούλευσης, μεταξύ άλλων από περιθωριοποιημένες κοινότητες ή/και τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η αναπαράσταση ενός σημαντικά μεγαλύτερου εύρους από οπτικές γωνίες, που δεν είχαν ακουστεί μέχρι πρόσφατα, και ταυτόχρονα η ύπαρξη ενός ευρύτερου συνόλου από αναλυτικά εργαλεία που μπορούν να αξιοποιηθούν για την «συνδιαμόρφωση»

παρουσιάζουν μια χρυσή ευκαιρία για το άνοιγμα των διαδικασιών μοντελοποίησης σε μεγαλύτερες κοινότητες με διαφορετικές ανάγκες και προσδοκίες, ενισχύοντας τη συνάφεια με τον πραγματικό κόσμο. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η έκφραση ενός μεγάλου φάσματος αντιλήψεων υπό το φως των κρίσεων, εν δυνάμει σε όλα τα στάδια της μοντελοποίησης όπως για παράδειγμα τη διαμόρφωση ρεαλιστικών προσδοκιών, την υποβολή ερευνητικών ερωτημάτων, το σχεδιασμό σεναρίων, την παραμετροποίηση μοντέλων, όπως επίσης και διαδικασίες ελέγχου και ανάδρασης επί των αποτελεσμάτων, και ακόμη και την ίδια την συν-ανάπτυξη μοντέλων.

Με βάση τα παραπάνω, οι αναλύσεις βασισμένες σε μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις διεπιστημονικές συνδιαμορφωμένες γνώσεις και να υποστηρίξουν αποφάσεις για τη χάραξη ποσοτικοποιημένων και εφαρμόσιμων πολιτικών που απαντούν στη σημερινή πολυκρίση. Αυτό συνεπάγεται τη διερεύνηση του τεράστιου φάσματος μελλοντικών εξελίξεων, συμπεριλαμβανομένων των μονοπατιών εκτός από τα κλασικά μοντέλα (π.χ., IAMs), όπως για παράδειγμα άλλα μοντέλα με στοχευμένη εστίαση σε περιοχές ή τομείς (Gambhir et al., 2022). Τέτοιες βελτιώσεις και ποικιλία στόχευσης μπορούν να βοηθήσουν στην απαγκίστρωση από τις πολλές φορές εξιδανικευμένες υποθέσεις των υφιστάμενων μεθοδολογιών, και στις οποίες συνήθως αγκυροβολούν οι μελέτες με χρήση IAMs, όπως οι κοινές κοινωνικοοικονομικές διαδρομές, οι αφηγήσεις πίσω από τις οποίες μπορεί να έχουν ακυρωθεί εδώ και καιρό, π.χ. από τις ανανεώσεις των προβλέψεων για το ΑΕΠ μετά την COVID-19, έως την επανεξέταση της κυριαρχίας των αφηγήσεων περί «μέσης οδού» (SSP2) έναντι άλλων ελάχιστα διερευνημένων εναλλακτικών όπως αυτή της «περιφερειακής αντιπαλότητας» (SSP3) μετά την εισβολή στην Ουκρανία. Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα αφορά την υποεκπροσώπηση σεναρίων από μοντέλα τομέων, αφήνοντας ενδεχομένως μη συμβατικούς χώρους δράσης (εκτός των μονοπατιών IAMs) χωρίς να ληφθούν υπόψη. Τα ειδικά μοντέλα για τομείς (π.χ. βιομηχανικά μοντέλα που παρέχουν πρωτοφανή επίπεδα λεπτομέρειας σε τεχνολογίες και διαδικασίες στη βιομηχανία) δεν καταλήγουν σχεδόν ποτέ σε βάσεις δεδομένων σεναρίων, λόγω της περιορισμένης αναπαράστασης κλιματικών αναδράσεων, των αερίων που δεν σχετίζονται με το CO2 ή/και των επιπτώσεων στο σύνολο της οικονομίας. Με τις κρίσεις να έχουν βαθιές επιπτώσεις σε συγκεκριμένους οικονομικούς τομείς (βιομηχανίες, κτίρια, συστήματα μεταφορών κ.λπ.) που δεν εκπροσωπούνται πάντα επαρκώς στα IAMs, τέτοια εργαλεία μπορούν να προσφέρουν πλούσιες πληροφορίες σχετικά με αυτές τις επιπτώσεις, παρέχοντας παράλληλα διαφοροποιημένες πληροφορίες.

Με όλα τα παραπάνω, το νέο υπόδειγμα διεπιστημονικής μοντελοποίησης μπορεί να αναλύσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πραγματικές οικονομικές και κλιματικές επιπτώσεις των κρίσεων, προσφέροντας πληροφορίες για οδούς ανάκαμψης που μπορούν να εκμεταλλευτούν ρωγμές στην ηγεμονία ορυκτών καυσίμων και να οδηγήσουν σε έναν πλήρη μετασχηματισμό.

Ήδη από την AR6 WGIII της IPCC σημειώθηκε σημαντική πρόοδο με την εισαγωγή ενός κεφαλαίου καινοτομίας βασισμένο στα κοινωνικοτεχνικά συστήματα, αν και σημαντικά απομονωμένο, παρόλα αυτά αντίστοιχη πρόοδος δεν σημειώθηκε στο μέτωπο της συνδιαμόρφωσης. Αλλαγές προβλέπονται ήδη για την επόμενη αξιολόγηση, με μεγαλύτερη έμφαση που αναμένεται να δοθεί σε αναλύσεις στοχευμένες σε συγκεκριμένους τομείς και υποεθνικό επίπεδο. Σε αυτή την κατεύθυνση κάθε ένα από τα τρία πεδία που συζητήθηκαν πρέπει να καταστήσει λειτουργική την εσωτερική απόκριση του στις κρίσεις, αναλύοντας κυρίως τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες της δικής του επιστημολογικής προσέγγισης. Η δυναμική ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ των πεδίων στη συνέχεια θα επιτρέψει την εξέταση και την ποσοτικοποίηση των διδαγμάτων που αντλήθηκαν σχετικά με τις αναδιαρθρώσεις του συστήματος που απαιτούνται και τις παρούσες ή μελλοντικές προτεραιότητες που έχουν τα ενδιαφερόμενη μέρη, ώστε να υποστηριχτούν αποτελεσματικές αποφάσεις κάτω από τις δύσκολες συνθήκες των κρίσεων. Η αφετηρία λειτουργίας του προτεινόμενου υποδείγματος μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί σε πιο διευρυμένη συνεργατική δράση για την αντιμετώπιση των θεμελιωδών αδυναμιών της σύγχρονης μοντελοποίησης και τη βελτίωση της ικανότητας αντιμετώπισης της σημερινής πολυκρίσης, αλλά και να αποτελέσει πρότυπο για την διαχείριση παρόμοιων μελλοντικών προκλήσεων. Συνεπώς η παρούσα διατριβή και το προτεινόμενο υπόδειγμα έρχονται σε ένα κομβικό χρονικό σημείο για να καταδείξουν την ανάγκη ανανέωσης του υποδείγματος μοντελοποίησης προτείνοντας λύση και δείχνοντας την αποτελεσματικότητα της εν λόγω λύσης (στις επόμενες ενότητες), που δύναται να αποτελέσει εφαλτήριο για τον τρόπο που θα πραγματοποιούνται ασκήσεις μοντελοποίησης τα επόμενα χρόνια.

2.4 Συμπέρασμα

Τα παράθυρα ευκαιρίας μπορούν να αποτελέσουν την χρυσή τομή για την ενίσχυση της δράσης για το κλίμα απέναντι στο σταυροδρόμι των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Οι ταυτόχρονες ενεργειακές, υγειονομικές, διπλωματικές και οικονομικές κρίσεις συνθέτουν ένα επικίνδυνο μείγμα αβεβαιότητας με την προτεραιότητα στους κλιματικούς

στόχους να θεωρείται σε μεγάλο βαθμό ως λύση στις πιέσεις από τις αυξημένες τιμές των ορυκτών καυσίμων, ως ευκαιρία για την πράσινη ανοικοδόμηση ύστερα από την πανδημία και ως ιερό δισκοπότηρο που πρέπει να επιβιώσει από τις διεθνείς συγκρούσεις και την ύφεση. Η πολιτική, οι επιχειρήσεις και η κοινωνία έχουν στραφεί στη επιστήμη της μοντελοποίησης ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών για λύσεις και την ευρύτερη υποστήριξη αποφάσεων, αλλά οι προσπάθειες παραμένουν σπάνιες και μονοδιάστατες, προσφέροντας λίγες πληροφορίες για τον χώρο δράσης σε αυτό το αβέβαιο τοπίο των αλληλεπικαλυπτόμενων προκλήσεων. Επαναπροσδιορίζοντας τον περίφημο αφορισμό του George Box, κανένα μοντέλο από μόνο του δεν μπορεί να προσφέρει μια χρήσιμη προσέγγιση σε μια διαταραγμένη πραγματικότητα. Για να αποφευχθεί η μη βέλτιστη υποστήριξη των υπευθύνων λήψης αποφάσεων σε περιόδους κρίσης, η διαδικασία της μοντελοποίησης πρέπει να ξεπεράσει τους σημαντικούς περιορισμούς της και να αναζητήσει αλλού τους απαραίτητους πόρους για να διασφαλίσει ότι τα αποτελέσματα των μοντέλων και οι αντίστοιχες στρατηγικές παρέχονται έγκαιρα, και είναι κοινωνικά και πολιτικά συναφή και ρεαλιστικά.

Ως εκ τούτου, ο στόχος αυτής της διατριβής και των επόμενων ενοτήτων είναι να αξιοποιήσει τη θεωρία μεταβάσεων και μεθόδους συνδιαμόρφωσης και να ενημερώσει τις ασκήσεις μοντελοποίησης για να αναδείξει την αποτελεσματικότητα του διεπιστημονικού υποδείγματος, το οποίο είναι ικανό να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική κάτω από περιβάλλοντα κρίσεων.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 2

Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. Climatic change, 95, 297-315.

Baptista, Luiz Bernardo, Roberto Schaeffer, Heleen L. van Soest, Panagiotis Fragkos, Pedro RR Rochedo, Detlef van Vuuren, Retno Gumilang Dewi et al. "Good practice policies to bridge the emissions gap in key countries." Global Environmental Change 73 (2022): 102472.

Cassetti, G., Boitier, B., Elia, A., Le Mouël, P., Gargiulo, M., Zagamé, P., ... & Chiodi, A. (2023). The interplay among COVID-19 economic recovery, behavioural changes, and the European Green Deal: An energy-economic modelling perspective. Energy, 263, 125798.

Chepeliev, M., Hertel, T., & van der Mensbrugghe, D. (2022). Cutting Russia's Fossil Fuel Exports: Short-Term Economic Pain for Long-Term Environmental Gain. The World Economy.

Fisch-Romito, V., Guivarch, C., Creutzig, F., Minx, J. C., & Callaghan, M. W. (2021). Systematic map of the literature on carbon lock-in induced by long-lived capital. Environmental Research Letters, 16(5), 053004.

Galende-Sánchez, E., & Sorman, A. H. (2021). From consultation toward co-production in science and policy: A critical systematic review of participatory climate and energy initiatives. Energy Research & Social Science, 73, 101907.

Gambhir, A., Ganguly, G., & Mittal, S. (2022). Climate change mitigation scenario databases should incorporate more non-IAM pathways. Joule, in press.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. Research policy, 36(3), 399-417.

Geels, F. W., Berkhout, F., & Van Vuuren, D. P. (2016). Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. Nature climate change, 6(6), 576-583.

Geels, F. W., Pereira, G. I., & Pinkse, J. (2022). Moving beyond opportunity narratives in COVID-19 green recoveries: A comparative analysis of public investment plans in France, Germany, and the United Kingdom. Energy Research & Social Science, 84, 102368.

Hausfather, Z., & Moore, F.C. (2022). Net-zero commitments could limit warming to below 2° C. Nature, 247-248.

Höhne, N., Gidden, M. J., den Elzen, M., Hans, F., Fyson, C., Geiges, A., ... & Rogelj, J. (2021). Wave of net zero emission targets opens window to meeting the Paris Agreement. Nature Climate Change, 11(10), 820-822.

Jackson, R. B., Friedlingstein, P., Le Quéré, C., Abernethy, S., Andrew, R. M., Canadell, J. G., ... & Peters, G. P. (2022). Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels. Environmental Research Letters, 17(3), 031001.

Kikstra, J. S., Vinca, A., Lovat, F., Boza-Kiss, B., van Ruijven, B., Wilson, C., ... & Riahi, K. (2021). Climate mitigation scenarios with persistent COVID-19-related energy demand changes. Nature Energy, 6(12), 1114-1123.

Lau, M., Ricks, W., Patankar, N., & Jenkins, J. D. (2022). Europe's way out: Tools to rapidly eliminate imports of Russian natural gas. Joule, 6(10), 2219-2224.

Mauser, W., Klepper, G., Rice, M., Schmalzbauer, B. S., Hackmann, H., Leemans, R., & Moore, H. (2013). Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability. Current opinion in environmental sustainability, 5(3-4), 420-431.

Meinshausen, Malte, Jared Lewis, Christophe McGlade, Johannes Gütschow, Zebedee Nicholls, Rebecca Burdon, Laura Cozzi, and Bernd Hackmann. "Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2° C." Nature 604, no. 7905 (2022): 304-309.

Nahm, J. M., Miller, S. M., & Urpelainen, J. (2022). G20's US $14-trillion economic stimulus reneges on emissions pledges. Nature, 603, 28-31.

Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., Koasidis, K., Doukas, H., Cassetti, G., ... & Chiodi, A. (2021). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. Science of the Total Environment, 793, 148549.

Nikas, A., Lieu, J., Sorman, A., Gambhir, A., Turhan, E., Baptista, B. V., & Doukas, H. (2020). The desirability of transitions in demand: Incorporating behavioural and societal transformations into energy modelling. Energy Research & Social Science, 70, 101780.

Peters, G. P., Marland, G., Le Quéré, C., Boden, T., Canadell, J. G., & Raupach, M. R. (2012). Rapid growth in CO2 emissions after the 2008–2009 global financial crisis. Nature climate change, 2(1), 2-4.

Pollitt, H., Lewney, R., Kiss-Dobronyi, B., & Lin, X. (2021). Modelling the economic effects of COVID-19 and possible green recovery plans: a post-Keynesian approach. Climate Policy, 21(10), 1257-1271.

Realmonte, G., Drouet, L., Gambhir, A., Glynn, J., Hawkes, A., Köberle, A. C., & Tavoni, M. (2019). An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways. Nature communications, 10(1), 1-12.

Roelfsema, M., van Soest, H. L., Harmsen, M., van Vuuren, D. P., Bertram, C., den Elzen, M., ... & Vishwanathan, S. S. (2020). Taking stock of national climate policies to evaluate implementation of the Paris Agreement. Nature communications, 11(1), 1-12.

Sognnaes, I., Gambhir, A., van de Ven, D. J., Nikas, A., Anger-Kraavi, A., Bui, H., ... & Peters, G. P. (2021). A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. Nature Climate Change, 11(12), 1055-1062.

Tooze, A. (2021). *Shutdown: How Covid Shook the World's Economy.* Penguin Books.

Trutnevyte, E., Hirt, L. F., Bauer, N., Cherp, A., Hawkes, A., Edelenbosch, O. Y., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Societal transformations in models for energy and climate policy: the ambitious next step. One Earth, 1(4), 423-433.

van de Ven, D. J., Nikas, A., Koasidis, K., Forouli, A., Cassetti, G., Chiodi, A., ... & Gambhir, A. (2022). COVID-19 recovery packages can benefit climate targets and clean energy jobs, but scale of impacts and optimal investment portfolios differ among major economies. One earth, 5(9), 1042-1054.

Van Sluisveld, M. A., Hof, A. F., Carrara, S., Geels, F. W., Nilsson, M., Rogge, K., ... & Van Vuuren, D. P. (2020). Aligning integrated assessment modelling with socio-technical transition insights: An application to low-carbon energy scenario analysis in Europe. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119177.

Veerkamp, C. J., Dunford, R. W., Harrison, P. A., Mandryk, M., Priess, J. A., Schipper, A. M., ... & Alkemade, R. (2020). Future projections of biodiversity and ecosystem services in Europe with two integrated assessment models. Regional Environmental Change, 20(3), 1-14.

Xexakis, G., Hansmann, R., Volken, S. P., & Trutnevyte, E. (2020). Models on the wrong track: Model-based electricity supply scenarios in Switzerland are not aligned with the perspectives of energy experts and the public. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110297.

ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙ.

ΜΙΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ ΣΕ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΠΙΕΣΕΙΣ, ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΚΑΙ «ΠΑΡΑΘΥΡΑ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ»

Κεφάλαιο 3. Μεταβάσεις εν μέσω πιέσεων ενός τομέα υπό συρρίκνωση: Η περίπτωση του βιομηχανικού τομέα σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο

3.1 Εισαγωγή

Όντας υπεύθυνη για την παραγωγή μεγάλου μέρους των αγαθών που χρησιμοποιούνται στη ζωή των ανθρώπων, η βιομηχανία βρίσκεται στο επίκεντρο της οικονομίας. Οι διεργασίες του τομέα ωστόσο, συνδέονται με υψηλές ποσότητες ενέργειας που χρησιμοποιούνται, στην πλειοψηφία τους προερχόμενες από ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα ο τομέας να συνεισφέρει σημαντικά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Η βιομηχανία ευθύνεται για το 30% των παγκόσμιων άμεσων και έμμεσων εκπομπών, ενώ ειδικότερα, οι άμεσες εκπομπές και οι εκπομπές από βιομηχανικές διεργασίες αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 60% του συνολικού βιομηχανικού μεριδίου (IPCC, 2014). Η βιομηχανία υπήρξε σημαντικός φορέας εκπομπών στην Ευρώπη, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 20% επί των συνολικών εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων εκπομπών (Åhman and Nilsson, 2015). Μεταξύ των πιο ενεργοβόρων βιομηχανιών (Energy-intensive Industries - EID), με τη μεγαλύτερη συμβολή στα βιομηχανικά αέρια του θερμοκηπίου είναι η παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου και χημικών προϊόντων. Αυτό διαμορφώνει έναν ετερογενή τομέα που απαιτεί κριτική εξέταση με ολιστικό τρόπο για την κατανόηση της πολύπλοκης πολιτικής οικονομίας, των ανησυχιών των διαφόρων παραγόντων σχετικά με τις διαρροές και τη μεγάλη ποσότητα δωρεάν δικαιωμάτων εκπομπών, καθώς και της επιθυμίας για ισχυρές βιομηχανικές πολιτικές, ιδίως για τεχνολογίες όπως η δέσμευση άνθρακα (Carbon Capture and Storage – CCS) και το υδρογόνο. Ως εκ τούτου, η απανθρακοποίηση του βιομηχανικού τομέα είναι ζωτικής σημασίας για την συνολική απανθρακοποίηση της ευρωπαϊκής οικονομίας (Gerres et al., 2019).

Ενδεικτικά, το 4-7% των παγκόσμιων βιομηχανικών εκπομπών CO2 προέρχεται από τη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα (Pardo and Moya, 2013; Stefana et al., 2019), αναδεικνύοντας τη σημασία των εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής στον τομέα. Ωστόσο, οι μεταβάσεις μεγάλης κλίμακας αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, καθώς η επένδυση σε σχετικές τεχνολογικές καινοτομίες θεωρείται δαπανηρή και συνοδευόμενη από ρίσκο (Karakaya et al., 2018), λόγω πιθανών προβλημάτων παραγωγής που ενδέχεται να βλάψουν τα μερίδια αγοράς των εταιρειών (Wesseling et al., 2017). Έχοντας περάσει από διάφορες κοινωνικοτεχνικές αλλαγές που καθιέρωσαν κυρίαρχες διαδικασίες, και λαμβάνοντας υπόψη το κόστος

καινοτομίας, ο υποτομέας αυτός ενσωματώνει ήδη τεχνολογικούς εγκλωβισμούς που εμποδίζουν μια συνολική ενεργειακή μετάβαση (Flichy, 2008).

Η παραγωγή τσιμέντου ήταν επίσης κεντρικής σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη των ανεπτυγμένων χωρών (Mokhtar and Nasooti, 2020). Αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 15% της παγκόσμιας βιομηχανικής ζήτησης ενέργειας, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με το τσιμέντο θεωρούνται και αυτές ενεργοβόρες (Avami and Sattari, 2007). Οι εκπομπές CO2 οφείλονται σε διεργασίες που σχετίζονται με τις πρώτες ύλες, ανεξάρτητα από το καύσιμο που καίγεται, ένα συνολικό χαρακτηριστικό του τομέα της βιομηχανίας το οποίο δυσκολεύει σημαντικά οποιαδήποτε προσπάθεια απανθρακοποίησης. Αυτές αντιπροσωπεύουν περίπου το 50% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το τσιμέντο και το 5% των παγκόσμιων εκπομπών CO2 (Markewitz et al., 2019). Ως εκ τούτου, απαιτούνται επίσης σημαντικοί μετασχηματισμοί.

Η χημική και πετροχημική βιομηχανία είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας που συμβάλλει στις βιομηχανικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (7% παγκοσμίως), αντιπροσωπεύοντας το 10% της συνολικής παγκόσμιας τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Περιλαμβάνοντας ένα πολύ ευρύ φάσμα προϊόντων, ο τομέας βρίσκεται στα όρια μεταξύ ενεργοβόρων και μη ενεργοβόρων βιομηχανιών (Griffin et al., 2018).

Η ανασκόπηση στο συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται στους βιομηχανικούς τομείς της Γερμανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου (UK), ως δύο παραδείγματα χωρών που ιστορικά συγκαταλέγονται μεταξύ των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών βιομηχανιών με σημαντικές εκπομπές αλλά διαφορετική ανάπτυξη κάτω από συγκεκριμένες πιέσεις (πχ., οικονομική κρίση, μετάβαση από τη βιομηχανία στις υπηρεσίες), ειδικά τα τελευταία χρόνια. Η βιομηχανία της Γερμανίας παρουσιάζει σταθερότητα, με τον σίδηρο και τον χάλυβα να παίζουν σημαντικό ρόλο στον εφοδιασμό άλλων τομέων όπως η αυτοκινητοβιομηχανία. Σε σύγκριση με τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζει σημαντική μετατόπιση από αυτές τις ενεργοβόρες βιομηχανίες προς τις υπηρεσίες (Allen, 1988; Cunningham and James, 2009). Οι διαφορές αυτές μπορεί να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία κάθε συστήματος που προωθούν ή παρεμποδίζουν την απανθρακοποίηση, ειδικά υπό το πρίσμα συνολικότερων πιέσεων και κρίσεων.

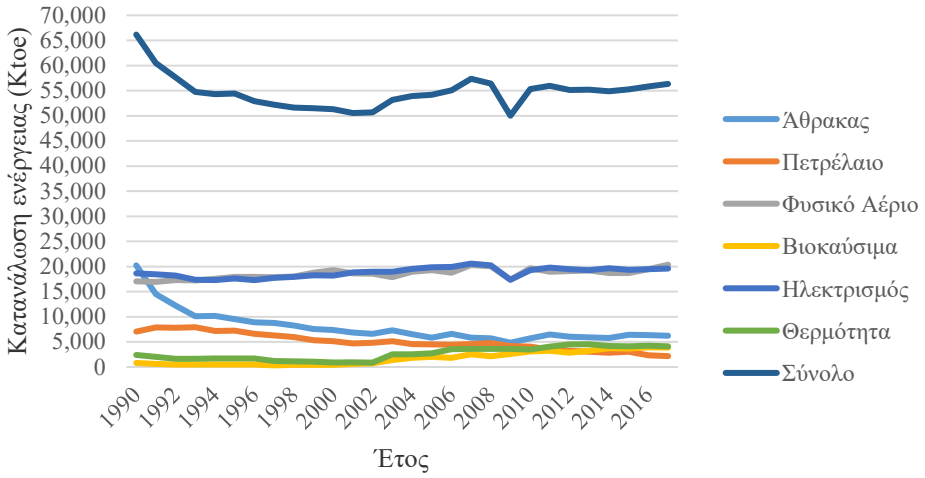
Επιλέγουμε το σύστημα καινοτομίας τομέων SIS (Malerba, 2004), ως βάση της μεθοδολογικής μας προσέγγισης, για να εξετάσουμε την πολυδιάστατη δυναμική (Malerba, 2002) της

βιομηχανίας, με στόχο τον προσδιορισμό του ρόλου των διάφορων παραγόντων του συστήματος στην προώθηση της απανθρακοποίησης σε ενεργοβόρες βιομηχανίες (Bosman et al., 2018). Η σύγκριση αναπτύσσεται περαιτέρω μέσω του συστήματος σφαλμάτων (Woolthuis et al., 2005), για τη διερεύνηση πιθανών φραγμών στη διάδοση τεχνολογιών και διαδικασιών χαμηλών εκπομπών.

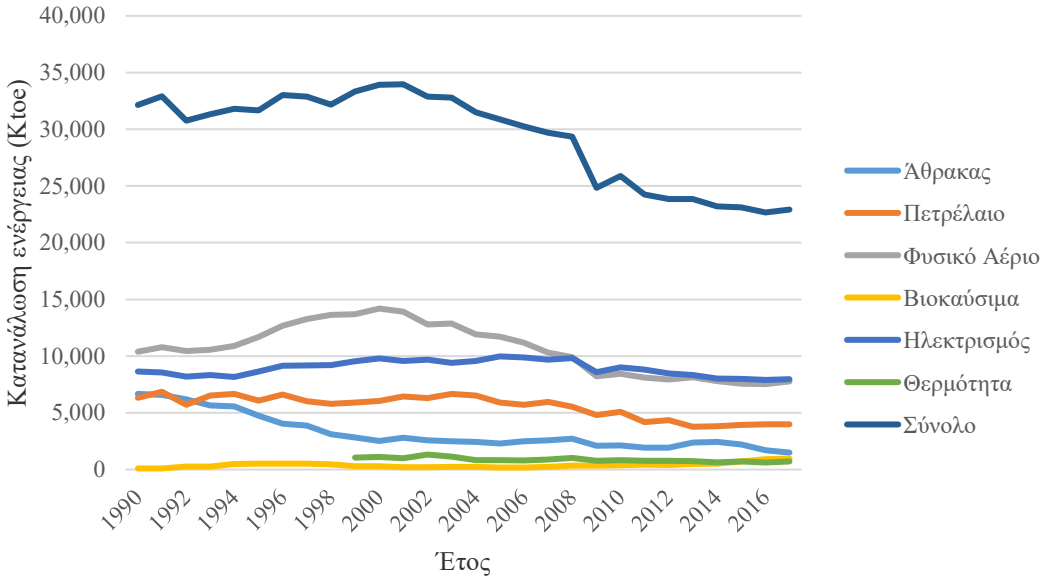
Στόχος μας είναι να εξετάσουμε τα βιομηχανικά συστήματα της Γερμανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου, εστιάζοντας κυρίως στον σίδηρο και τον χάλυβα, το τσιμέντο και τα χημικά προϊόντα, που αποτελούν τους κυρίαρχους βιομηχανικούς τομείς στις δραστηριότητες των δύο χωρών, από την σκοπιά της απανθρακοποίησης του τομέα, εξετάζοντας παράλληλα τα εμπόδια που ενδέχεται να εμποδίζουν τη χρήση και τη διάδοση βιώσιμων βιομηχανικών τεχνολογιών και την επίδραση διαφόρων πιέσεων του ευρύτερου περιβάλλοντος, αξιοποιώντας και ενσωματώνοντας το SIS και το σύστημα σφαλμάτων.

3.2 Το εθνικό υπόβαθρο των δύο χωρών

Η Γερμανία θεωρείται μια ισχυρή οικονομική δύναμη με το υψηλότερο ΑΕΠ στην Ευρώπη και το 4ο μεγαλύτερο ΑΕΠ παγκοσμίως (Marçal et al., 2020). Η οικονομία της βασίζεται κυρίως στις υπηρεσίες (62% του ΑΕΠ), ακολουθούμενη από έναν ισχυρό βιομηχανικό τομέα (27% του ΑΕΠ) (Statista, 2018). Από την άλλη, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει επίσης μια ισχυρή οικονομία, με το δεύτερο υψηλότερο ΑΕΠ στην Ευρώπη και το 6ο παγκοσμίως, με τις υπηρεσίες ωστόσο να κατέχουν ισχυρότερο μερίδιο (71% του ΑΕΠ) έναντι της βιομηχανίας (18% του ΑΕΠ) σε σύγκριση με τη Γερμανία. Οι δύο χώρες δαπανούν επίσης το 3% και το 1.6% του ΑΕΠ τους αντίστοιχα σε δημόσια και ιδιωτική έρευνα και ανάπτυξη (Ε&Α) (OECD, 2017). Η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο συγκαταλέγονται μεταξύ των πρώτων 10 και 20 χωρών με τις υψηλότερες εκπομπές CO2 στον κόσμο, αντίστοιχα. Από το 1990 έως το 2017, η βιομηχανία αντιπροσώπευε περίπου το 24% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στη Γερμανία και το 21% στο Ηνωμένο Βασίλειο (IEA, 2019). Η Εικόνα 3.1 παρουσιάζει το ενεργειακό μείγμα του τομέα της βιομηχανίας των δύο χωρών με το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια να έχουν τα υψηλότερα μερίδια, ενώ ο άνθρακας παρουσιάζει πτωτική τάση. Τα σταθερά επίπεδα των ορυκτών καυσίμων και στις δύο χώρες κατά την τελευταία δεκαετία (σε μεγαλύτερο βαθμό στη Γερμανία), καταδεικνύουν την ανάγκη ανάληψης πρωτοβουλιών για τον μετασχηματισμό του τομέα, με παράλληλη στόχευση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες έχουν αυξηθεί στη Γερμανία τα τελευταία χρόνια και δεν έχουν μειωθεί επαρκώς στο Ηνωμένο Βασίλειο (Εικόνα 3.2).



α) Γερμανία

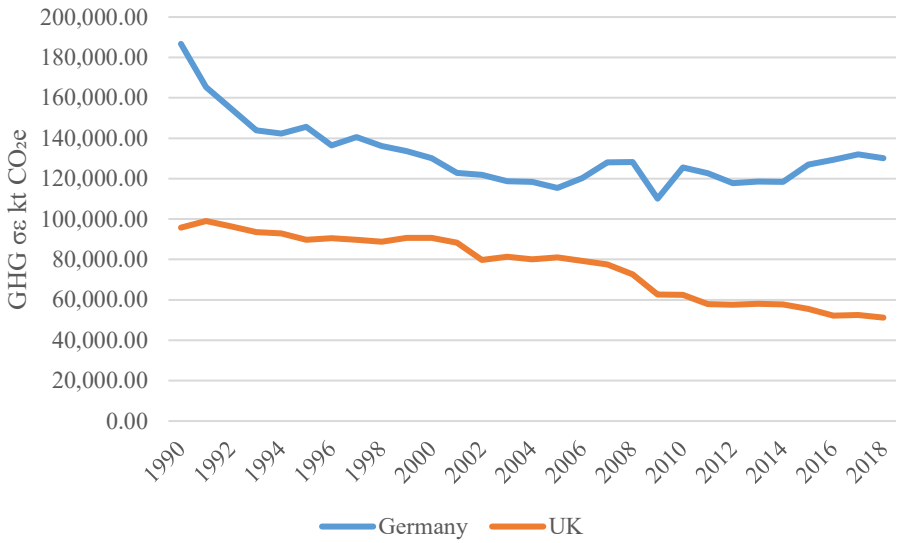


β) Ηνωμένο Βασίλειο

Εικόνα 3.1. Κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας ανά φορέα ενέργειας σε α) Γερμανία, και β) το Ηνωμένο Βασίλειο

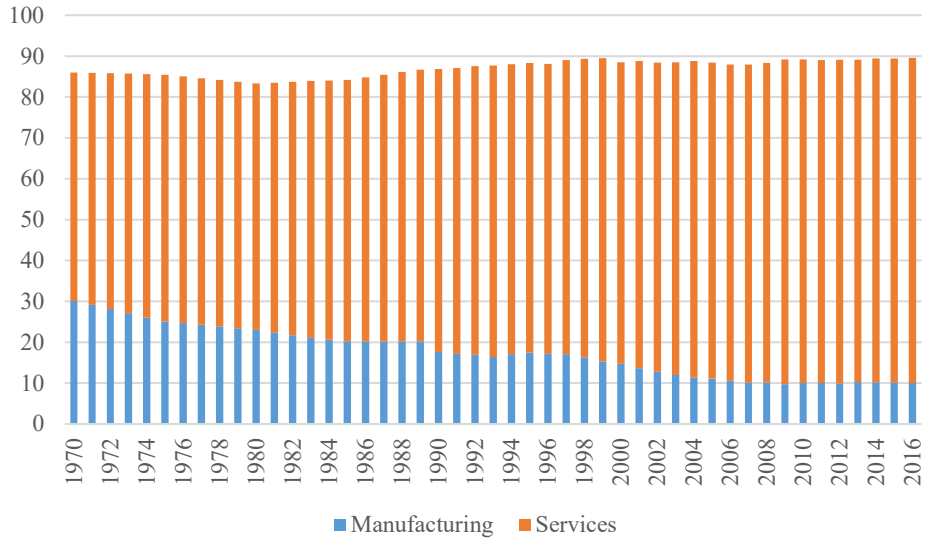
Όσον αφορά τις βιομηχανικές εκπομπές από τον κατασκευαστικό τομέα, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο μείωσαν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 30 % και 46 % το 2018, σε σύγκριση με το 1990 (UNFCCC, 2018). Αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στο γεγονός ότι η οικονομία του Ηνωμένου Βασιλείου μετατοπίστηκε από τη βιομηχανία στις υπηρεσίες (Εικόνα 3.3), δείχνοντας μειωμένες άμεσες εκπομπές που όμως μπορεί να καλλιεργήσουν την ψευδή εικόνα ότι πραγματοποιείται τεχνολογική πρόοδος. Από την άλλη, το βιομηχανικό μερίδιο

εκπομπών και ενέργειας της Γερμανίας παρέμεινε σταθερό τα τελευταία χρόνια, παρά τη βιομηχανική ύφεση μετά την ενοποίηση με την Ανατολική Γερμανία (Εικόνα 3.2). Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του τομέα συμβάλλουν στο εθνικό αποτύπωμα (εξαιρουμένου του τομέα LULUCF) κάθε χώρας με 15% και 10% για τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου δημοσίευσε τη στρατηγική της για την καθαρή ανάπτυξη (Clean Growth Strategy - CGS) τον Οκτώβριο του 2017, καθορίζοντας φιλόδοξους στόχους και προτάσεις σχετικά με την έως το 2032 πορεία, συμπεριλαμβανομένου του βιομηχανικού τομέα. Συγκεκριμένα, η βιομηχανική στρατηγική του Ηνωμένου Βασιλείου δημοσιεύθηκε παράλληλα τον Νοέμβριο του 2017, με στόχο να βοηθήσει τη βιομηχανία του να επωφεληθεί από την παγκόσμια μετάβαση. Το σχέδιο CGS προβλέπει επενδύσεις ύψους 115 εκατομμυρίων ευρώ για τη μείωση των βιομηχανικών εκπομπών και την ενίσχυση τεχνολογιών CCS. Ομοίως, στη Γερμανία, ήδη από το 2010 η ομοσπονδιακή κυβέρνηση (μέσω του πλάνου '2010 Energy Concept') έθεσε τον στόχο για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με το 1990—που αντιστοιχεί σε μείωση των εκπομπών της βιομηχανίας κατά 49-51%. Δεδομένου ότι η βιομηχανία διέπετε εν μέρει από το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU Emissions Trading System - EU-ETS) (Zeng and Zhu, 2019), και τις τιμές των εκπομπών να αναμένεται να αυξηθούν εντός των προσεχών ετών, οι προσπάθειες για τη βιομηχανική μετάβαση θα πρέπει να ενταθούν, ώστε οι δύο χώρες να μπορέσουν να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους.



Εικόνα 3.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον παρασκευαστικό τομέα στη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο από το 1990 έως το 2018

Και στις δύο χώρες, οι διαδικασίες παραγωγής των βασικών μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του σιδήρου και του χάλυβα, παρουσίασαν τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας το 2017, με τα χημικά προϊόντα και τα μη μεταλλικά ορυκτά, συμπεριλαμβανομένου του τσιμέντου να ακολουθούν (IEA, 2019). Στη Γερμανία, υπάρχει σχεδόν σταθερή κατανάλωση ενέργειας σε όλους τους τομείς, εκτός από μια πτώση το 2009 που σχετίζεται με την παγκόσμια ύφεση, με την κατανάλωση ωστόσο να επιστρέφει στα προ-κρίσης επίπεδα το 2010, το οποίο μπορεί να δώσει ένα σημαντικό μήνυμα για τα φαινόμενα επιστροφής στα προ-κρίσης μοτίβα (rebound effects) και στις σημερινές κρίσεις. Αντίθετα, η βιομηχανική κατανάλωση στο Ηνωμένο Βασίλειο μειώνεται συνεχώς από το 2000, με τη συνολική μείωση να φτάνει σχεδόν το 47%, αντανακλώντας μια μακροχρόνια μετάβαση από τη βιομηχανία στις υπηρεσίες, και την παραγωγή σιδήρου, χάλυβα και τσιμέντου να μειώνεται τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια, με την τελευταία μάλιστα να συρρικνώνεται στο μισό (British Geological Survey, 2014). Μια τέτοια μετάβαση παρατηρείται ευρύτερα στις προηγμένες οικονομίες (Schettkat and Yocarini, 2006), αλλά στην περίπτωση του Ηνωμένου Βασιλείου παρουσιάζεται έντονα (Εικόνα 3.3). Το 1970, οι υπηρεσίες αντιπροσώπευαν σχεδόν το 56%, ενώ η παρασκευαστική βιομηχανία αντιπροσώπευε το 30% της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας της χώρας. Το μερίδιο των υπηρεσιών αυξήθηκε σημαντικά, φθάνοντας σχεδόν το 80% έως το 2016, με την παρασκευαστική βιομηχανία να περιορίζεται μόνο στο 10% το ίδιο έτος (Office for National Statistics, 2019).



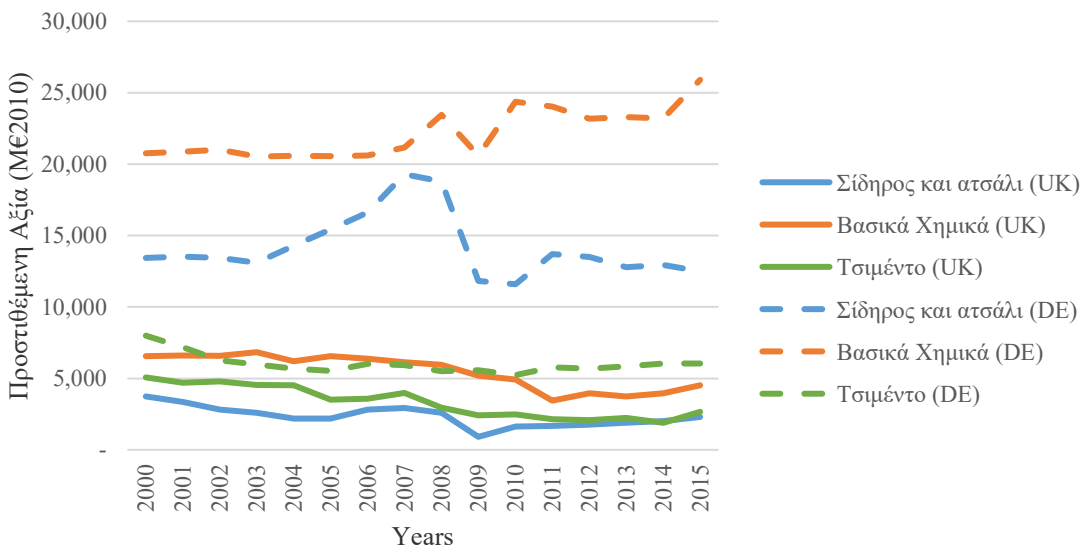
Εικόνα 3.3. Μερίδια ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας (ΑΠΑ) στους τομείς της μεταποίησης και των υπηρεσιών στο Ηνωμένο Βασίλειο από το 1970 έως το 2016.

Για να γίνει λοιπόν κατανοητή η ύπαρξη ή όχι μιας τάσης μείωσης εκπομπών και ενέργειας που βασίζεται σε πραγματική πρόοδο, πρέπει να γίνει σαφή διάκριση μεταξύ των επιπτώσεων από τη μείωση της δραστηριότητας συγκριτικά με την επίδραση πιθανής τεχνολογικής προόδου στην μείωση των εκπομπών του τομέα. Η Εικόνα 3.4 παρουσιάζει την εξέλιξη της οικονομικής δραστηριότητας και την αποσύνθεση των συνολικών εκπομπών στην ένταση εκπομπών, δηλαδή εκπομπές CO2 ανηγμένες ως προς την προστιθέμενη οικονομική αξία τους (Kaya and Yokobori, 1997) (CO2 intensity per value added). Η ένταση CO2 καθορίζεται από την ειδική κατανάλωση ενέργειας και το μείγμα καυσίμων, καλύπτοντας τόσο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης όσο και τη μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα (Wachsmuth and Duscha, 2019).

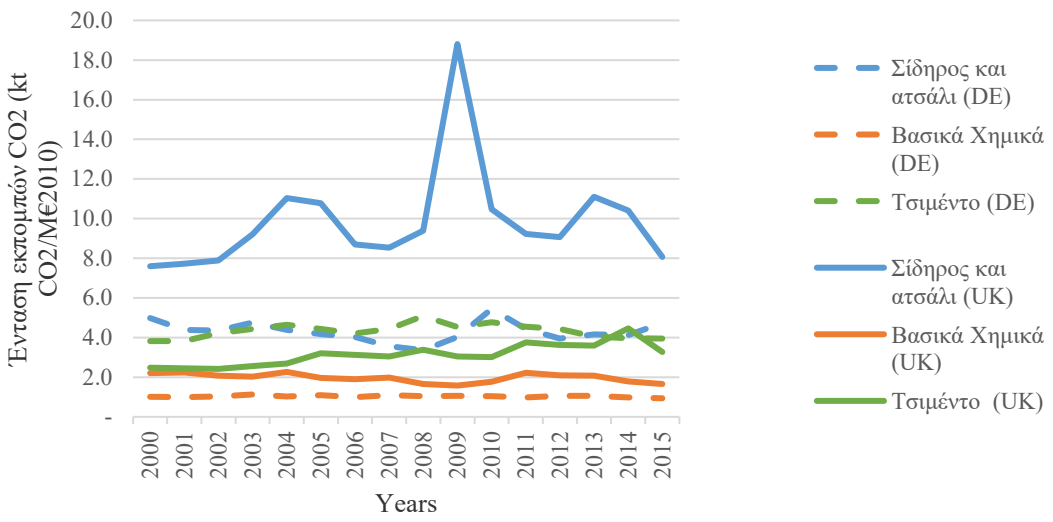
Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι μεταξύ του 2000 και του 2015 (Mantzos et al., 2018), η οικονομική δραστηριότητα του Ηνωμένου Βασιλείου στον σίδηρο και τον χάλυβα, τα βασικά χημικά προϊόντα και το τσιμέντο γνώρισε κυρίως κάμψη. Το ίδιο ισχύει και για τον γερμανικό κλάδο τσιμέντου, ενώ τα βασικά χημικά σημείωσαν σημαντική οικονομική ανάπτυξη, εκτός από μια ύφεση κατά τη διάρκεια της κρίσης του 2009. Η οικονομική δραστηριότητα του γερμανικού σιδήρου και χάλυβα αυξήθηκε έντονα μέχρι μια σοβαρή πτώση το 2009, επανερχόμενη όμως στα προ κρίσης επίπεδα.

Κατά την ίδια περίοδο, η ένταση CO2 του γερμανικού τσιμέντου διατηρήθηκε περίπου σταθερή. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, κινήθηκε χαμηλότερα αλλά αυξήθηκε σε παρόμοια επίπεδα, ενώ η ένταση CO2 του τομέα σιδήρου και χάλυβα σημείωσε υψηλή ανοδική δυναμική, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της κρίσης, επιστρέφοντας στα αρχικά επίπεδα στη συνέχεια. Η ένταση CO2 παρέμεινε σημαντικά χαμηλότερη στον γερμανικό τομέα σιδήρου και χάλυβα καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου. Τέλος, η ένταση CO2 του τομέα των βασικών χημικών προϊόντων στο Ηνωμένο Βασίλειο ξεκίνησε δύο φορές υψηλότερα από ό,τι στη Γερμανία, αλλά στη συνέχεια μειώθηκε, με την ένταση CO2 της Γερμανίας να μην αλλάζει σημαντικά.

Από τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί ένα χρήσιμο συμπέρασμα. Φαίνεται να έχει σημειωθεί μικρή πρόοδος όσον αφορά την απανθρακοποίηση των ενεργοβόρων βιομηχανιών στις δύο χώρες. Αντ' αυτού, οι πρόσφατες μειώσεις εκπομπών φαίνεται να οφείλονται κυρίως στη μειωμένη δραστηριότητα, με εξαίρεση τη χημική βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου, όπου η ένταση του CO2 μειώθηκε σημαντικά. Αντίθετα, η ένταση CO2 της παραγωγής τσιμέντου αυξήθηκε ακόμη περισσότερο.



α) Οικονομική δραστηριότητα ανά τομέα



β) Ένταση CO2 (εκπομπές CO2 ανά προστιθέμενη αξία) ανά τομέα

Εικόνα 3.4. Οικονομική δραστηριότητα και ένταση εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών στη Γερμανία (DE) και το Ηνωμένο Βασίλειο (UK)

3.3 Μεθοδολογία

Η καινοτομία, είτε τεχνολογική είτε οργανωτική (Edquist et al., 2001), βρίσκεται συνήθως στον πυρήνα των κοινωνικοτεχνικών αλλαγών, παρουσιάζοντας συστημικό χαρακτήρα (Fagerberg et al., 2005). Τα συστήματα καινοτομίας επιτρέπουν μια ολιστική και διεπιστημονική προοπτική (Song et al., 2020) που αποτυπώνει το ρόλο των συμμετεχόντων σε ένα σύστημα, των δικτύων

επικοινωνίας, των ιδρυμάτων και των διαδικασιών εκμάθησης στη διάδοση της καινοτομίας (Edquist, 2005). Έτσι, τα συστήματα καινοτομίας βρίσκονται στον πυρήνα της συστημικής ανάλυσης των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ συμμετεχόντων, δικτύων επικοινωνίας και διαδικασιών μέσα σε ένα σύστημα προκειμένου να προωθηθούν τεχνολογικές αλλαγές (Hekkert et al., 2007), ως μέρος των εξελικτικών θεωριών της οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης (Nelson and Winter, 1982; Nelson and Nelson, 2002). Τεχνικές, επιστημονικές, κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές παράμετροι επηρεάζουν την καινοτομία ως συλλογική οντότητα, οδηγώντας σε μετασχηματισμό ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης (Callon, 1987). Στη βιβλιογραφία, αναπτύχθηκαν διαφορετικά συστήματα καινοτομίας, κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικά σύνορα και επικεντρώνεται σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, όπως τα εθνικά (NIS) (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993), τα περιφερειακά (RIS) (Asheim and Isaksen, 1997; Cooke et al., 1997; Cooke, 2001), τα τομεακά (SIS) (Breschi and Malerba, 1997; Malerba 2002; Malerba, 2004; Malerba, 2005) και τα τεχνολογικά (TIS) (Carlsson and Stankiewicz, 1991) συστήματα καινοτομίας. Οι Asheim et al. (2011) δείχνουν πώς τα διαφορετικά συστήματα καινοτομίας σχετίζονται μεταξύ τους, με βάση του Frenz and Oughton (2005). Ανάλογα με την εστίασή τους, τα συστήματα αυτά αναλύουν τις διαδικασίες για τη διάχυση της καινοτομίας και της διείσδυσής της μέσα σε ένα σύστημα μέσα από διαφορετικά αλλά όλο και πιο ασαφή όρια (Binz and Truffer, 2017). Για παράδειγμα, το TIS, αν και θεωρείται στη βάση του διεθνές και πολυτομεακό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τη διάδοση της τεχνολογικής καινοτομίας τόσο με γεωγραφική όσο και με τομεακή εστίαση (Bergek et al., 2008). Οι Nikas et al. (2017) ενσωμάτωσαν το TIS με χάρτες αναπαράστασης συστημάτων, ένα πλαίσιο για την αποτύπωση των διαφορετικών δυναμικών που υπάρχουν στα συστήματα καινοτομίας, ως επέκταση των «χαρτών αγοράς» (Albu and Griffith, 2005). Οι Markard και Truffer (2008) συζητούν τα σύνορα εφαρμογής κάθε ενός από αυτά τα συστήματα για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για τη δημιουργία διασυνδέσεων NIS-SIS-TIS, ενώ παράλληλα τις συνδέουν με το μοντέλο πολυεπίπεδης ανάλυσης (MLP) (Rip and Kemp, 1998; Geels, 2002), μια αναλυτική προσέγγιση για την κατανόηση των κοινωνικοτεχνικών μεταβάσεων. Ομοίως, ο Chung (2012) βασίστηκε στην ιδέα ενός ενοποιημένου Εθνικού, Κοινωνικού και Τεχνικού Συστήματος Καινοτομίας (NSTIS) του βιοτεχνολογικού τομέα της Ταϊβάν.

Το SIS, ειδικότερα, έχει εφαρμοστεί σε μελέτες για να περιγράψει τις διεργασίες καινοτομίας διαφόρων τομέων, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Rogge and Hoffmann, 2010), τα κτίρια (Siva et al., 2017), τα κεφαλαιουχικά αγαθά (Kim et al., 2008), οι φυσικοί πόροι (Sæther et

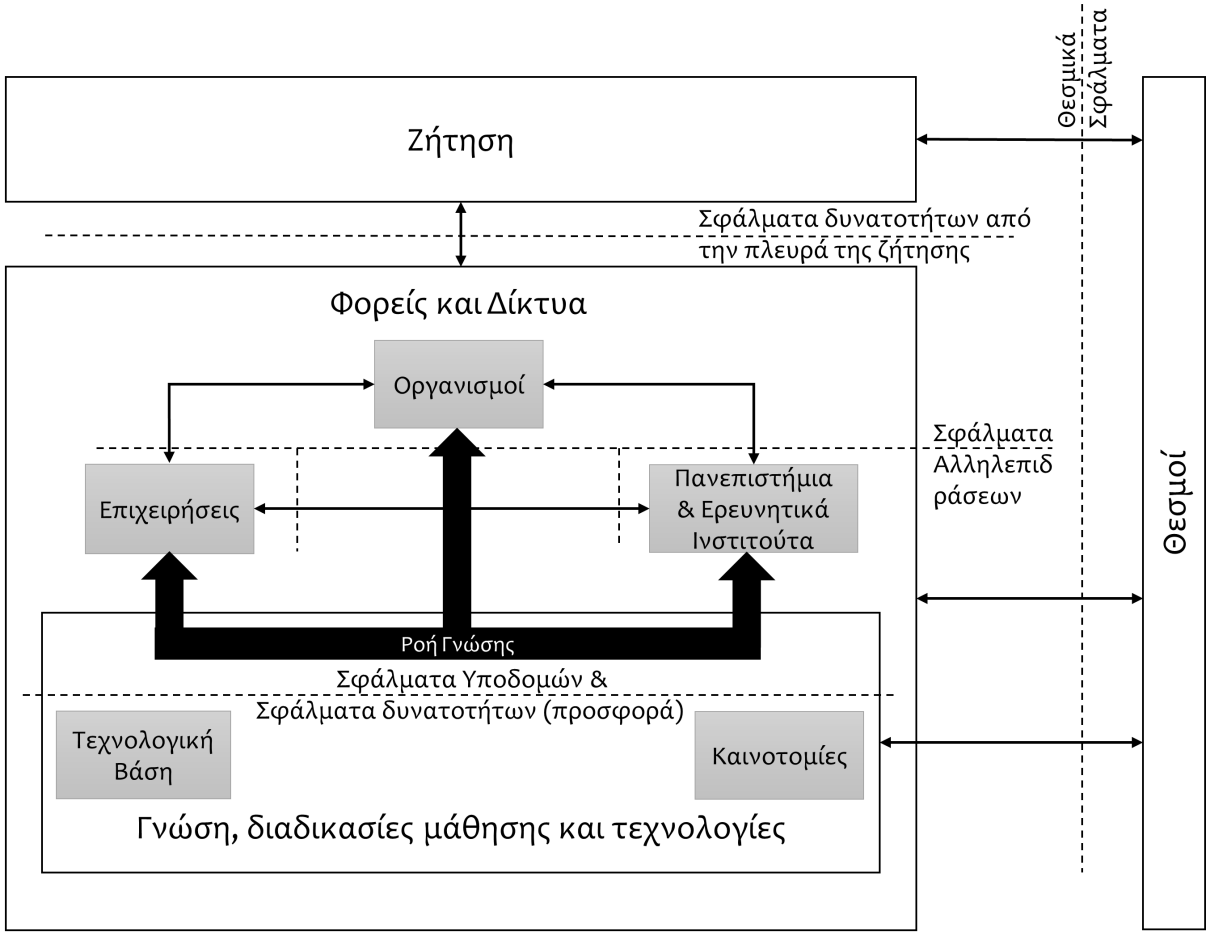
al., 2011), η διαχείριση εγκαταστάσεων (Andersen et al., 2014), τα φωτοβολταϊκά (Balaguer and Marinova, 2006), τα τρόφιμα (Chunhavuthiyanon and Intarakumnerd, 2014) και η στέγαση (Faber and Hoppe, 2013). Η απανθρακοποίηση των ενεργοβόρων βιομηχανιών έχει επίσης αναλυθεί με το SIS. Οι Lechtenböhmer et al. (2016) εξέτασαν τον εξηλεκτρισμό της παραγωγής βασικών υλικών στην ΕΕ σε πολλούς τομείς, σε μια προσέγγιση παρόμοια με τη μελέτη των Åhman et al. (2012) για τη βιομηχανική μετάβαση της Σουηδίας. Οι Gerres et al. (2019) εξέτασαν την απανθρακοποίησης σε ευρωπαϊκό επίπεδο, εστιάζοντας κυρίως σε τεχνολογίες όπως το CCS. Η πρώτη εφαρμογή του SIS για την απανθρακοποίηση ενεργοβόρων βιομηχανιών επικεντρώθηκε στην ολλανδική τσιμεντοβιομηχανία και στις αντίστοιχες καινοτομίες καθαρού τσιμέντου (Wesseling and Van der Vooren, 2017). Με βάση αυτή την ιδέα και τη συζήτηση για τα όρια του συστήματος, η μελέτη μας επικεντρώνεται στο SIS του ευρύτερου βιομηχανικού τομέα στο εθνικό πλαίσιο τόσο του Ηνωμένου Βασιλείου όσο και της Γερμανίας (Breschi and Malerba, 1997). Ένα κεντρικό σημείο της ανάλυσής μας έγκειται στην εξέταση τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου και χημικών ουσιών από μακροσκοπική προοπτική, με σκοπό την εύρεση στοιχείων του συστήματος που επηρεάζουν κυρίως τη διάδοση τέτοιων καινοτομιών. Το γεγονός ότι το SIS εφαρμόζεται σε πολλές βιομηχανίες και για δύο χώρες δημιουργεί δυσκολίες στην εξέταση θεωρητικών τάσεων στο πλαίσιο των δύο συστημάτων, περιορισμός ο οποίος αίρεται δεδομένου ότι η βιομηχανική μετάβαση βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και δεν έχουν σημειωθεί θεμελιώδεις μετατοπίσεις (Coenen and López, 2010; Geels, 2004; Andersen and Markard, 2020; Bergek et al., 2008; Hekkert et al., 2007).

Η επισκόπησή μας πραγματοποιείται με βάση τα τέσσερα στοιχεία του SIS όπως προσδιορίστηκαν από τον Malerba (2002; 2004; 2005) και στη συνέχεια από τους Rogge and Hoffmann, 2010): «φορείς και δίκτυα», «θεσμοί», «ζήτηση» και «γνώση, διαδικασίες μάθησης και τεχνολογίες». Αρχικά, χαρτογραφούνται οι πρωτογενείς και δευτερογενείς βιομηχανικοί φορείς στις δύο χώρες. Ωστόσο, η συνύπαρξη αυτών των φορέων δεν διασφαλίζει την αποτελεσματική διάδοση της καινοτομίας (Markusen, 2000): για να μοιραστεί και να διαχυθεί η καινοτομία απαιτείται η συνεργασία και η καθιέρωση δικτύων επικοινωνίας μεταξύ των βασικών φορέων μιας βιομηχανίας, των δημόσιων αρχών και των ερευνητικών ιδρυμάτων (Esparcia, 2014). Ταυτόχρονα, μέσω της θεσμικής ανάλυσης, προσδιορίζονται οι εθνικές πολιτικές που επηρεάζουν τη βιομηχανία και χαράσσουν την πορεία προς την μείωση των εκπομπών, μαζί με παρόμοιες ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες (Napp et al., 2014). Η ζήτηση

διαδραματίζει επίσης βασικό ρόλο στην αγορά, όχι μόνο ως παράγοντας κατανάλωσης, αλλά και στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και στη βελτίωση των τελικών προϊόντων (Klepper and Malerba, 2010). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη βιομηχανία, όπου η πελατειακή βάση αποτελείται από άλλους μεγάλους φορείς και συμμετέχοντες στο σύστημα όπως η αυτοκινητοβιομηχανία (Turnbull, 1992; Mazur et al., 2015b). Τέλος, περιγράφεται η υπάρχουσα βάση γνώσεων πάνω στην οποία μπορούν να αναδειχθούν καινοτομίες καθώς επίσης και οι τεχνολογίες που κυριαρχούν στους βιομηχανικούς τομείς, ενώ εξηγούνται οι συνθήκες ευκαιρίας που οδηγούν στην εμφάνιση καινοτομιών (Malerba and Orsenigo, 1997), και στη διάχυση τους.

Στη συνέχεια, το Βρετανικό και το Γερμανικό SIS αναλύονται στα πλαίσια μιας συγκριτικής ανάλυσης, όπου εντοπίζονται εμπόδια στη διάδοση των τεχνολογιών και καινοτομιών χαμηλών εκπομπών στη βιομηχανία από συστημική άποψη, και τα οποία έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε ανθρακικά lock-ins (Unruch, 2000) και, στη συνέχεια, σε αδυναμία προσαρμογής στις νέες τεχνολογίες και πολιτικές (Zhang and Liang, 2012), με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται οι στόχοι απανθρακοποίησης. Η ανάλυση πραγματοποιείται με βάση τους τέσσερις τύπους συστημικών σφαλμάτων (system failures) (Woolthuis et al., 2005): θεσμικά, υποδομών, ικανοτήτων και αλληλεπιδράσεων. Η εισαγωγή της προσέγγισης των συστημικών σφαλμάτων στη συγκριτική ανάλυση επιτρέπει να αποκλίνουμε από μια αυστηρά δομική σύγκριση των μεμονωμένων μελετών περιπτώσεων SIS, ενισχύοντας έτσι την αντίληψή μας για την ικανότητα των δύο συστημάτων να διαχειρίζονται την καινοτομία. Στα πλαίσια της διατριβής λοιπόν, ενσωματώνουμε το πλαίσιο συστημικών σφαλμάτων στο SIS, κάτι το οποίο παρά τις εμφανείς δομικές ομοιότητες των δύο συστημάτων δεν είχε πραγματοποιηθεί. Συνεπώς, το πρώτο χρησιμοποιείται για τη δομική ανάλυση των συστημάτων από μακροσκοπική σκοπιά, δεδομένων των πολλαπλών υποτομέων και μάλιστα σε δύο χώρες, ενώ το δεύτερο βοηθά στον εντοπισμό πιθανών σημείων που μπορούν να προκαλέσουν εμπόδια στη μετάβαση, και άρα συμβάλλει στην διαμόρφωση προτάσεων πολιτικής που μπορούν να αποφύγουν αυτά τα εμπόδια. Οι τύποι σφαλμάτων που πραγματεύεται το πλαίσιο αυτό, συσχετίζονται άμεσα με εμπόδια που εντοπίστηκαν εκτενώς στη βιβλιογραφία για τις ενεργοβόρες βιομηχανίες (Wesseling et al., 2017; Janipour et al., 2020; Åhman et al., 2017; Bataille et al., 2018; Dewald and Achternbosch, 2016; Luiten and Blok, 2003). Έτσι, τα συστημικά σφάλματα σχετίζονται γενικά με προβλήματα που εμφανίζονται σε ένα δεδομένο σύστημα (Foxon and Pearson, 2008), ενώ από την άλλη τα εμπόδια αυτά καθαυτά προκαλούν την αργή διάδοση της καινοτομίας (Brown, 2001), και εν γένει προκαλούν τα ίδια τα σφάλματα. Η αντιμετώπιση τόσο των σφαλμάτων όσο και των

εμποδίων ενός συστήματος είναι καίρια για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών πολιτικών που υποστηρίζουν την καινοτομία σε όλα τα στάδια (Foxon and Pearson, 2008; Foxon et al., 2005). Δεδομένων των πρώτων σταδίων της μετάβασης στην οποία βρίσκονται οι ενεργοβόρες βιομηχανίες, η κατανόηση των πιθανών σφαλμάτων στις οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν αυτά τα εμπόδια είναι ζωτικής σημασίας για την έγκαιρη αντιμετώπισή τους και τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεών τους (Perel, 2002). Η σύνδεση αυτών των τύπων σφαλμάτων με τα δομικά στοιχεία του SIS επιτρέπει την ενσωμάτωση των δύο θεωριών στο εννοιολογικό πλαίσιο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5, ενώ ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται τα δομικά στοιχεία εξηγείται στις ακόλουθες παραγράφους.



Εικόνα 3.5. Θεωρητική προσέγγιση για την ενσωμάτωση του SIS και του πλαισίου συστημικών σφαλμάτων

Αρχικά, ένα κεντρικό στοιχείο κάθε συστήματος καινοτομίας είναι το σύνολο των φορέων που εκτελούν βασικές δραστηριότητες του αντίστοιχου τομέα, οι οποίες δεν περιορίζονται μόνο

στην παραγωγή των εξεταζόμενων αγαθών, αλλά περιλαμβάνουν διαδικασίες έρευνας καθώς και άλλες δραστηριότητες όπως η εκπροσώπηση φορέων από ενώσεις. Τα δίκτυα επικοινωνίας που δημιουργούνται μεταξύ των διαφόρων παραγόντων του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Από αυτή την άποψη, ο συνδυασμός αυτού του μπλοκ με το σφάλμα αλληλεπιδράσεων είναι προφανής. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις που οδηγούν σε σφάλματα συνήθως μπορούν να χωριστούν σε αδύναμες και ισχυρές (Carlsson and Jacobsson, 1997). Και οι δύο επηρεάζουν αρνητικά τις διαδικασίες μάθησης, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της καινοτομίας (Lundvall, 2016), είτε λόγω ανεπαρκών ανταλλαγών (ασθενής αλληλεπίδραση) μεταξύ φορέων που εμποδίζουν την καινοτομία, είτε λόγω πολύ στενών συνδέσεων (ισχυρή αλληλεπίδραση) που μπορεί να είναι αναποτελεσματικές για την αξιοποίηση ευκαιριών (Jack, 2005), είτε και να μην επιτρέπουν καθόλου την καινοτομία να εμφανιστεί (Weber and Rohracher, 2012).

Το μπλοκ που αφορά τους θεσμούς λειτουργεί σε ένα ευρύτερο επίπεδο για το σύστημα περιλαμβάνοντας πολιτικές που επηρεάζουν όλες τις πτυχές του, συμπεριλαμβανομένων των κύριων φορέων, της πλευράς της ζήτησης, αλλά και τη γνώση και την καινοτομία, ιδίως μέσω διαύλων και στρατηγικών χρηματοδότησης, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να σχετίζονται με θεσμικά σφάλματα, και τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως σκληρά ή ήπια (Carlsson and Jacobsson, 1997). Τα πρώτα συνδέονται με το νομικό και πολιτικό πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων των υγειονομικών κανονισμών και των εργατικών νόμων που επηρεάζουν έμμεσα το σύστημα, και τα οποία είναι θεμελιωδώς παρόμοια με το θεσμικό μπλοκ του SIS. Τα τελευταία σχετίζονται κυρίως με ένα ευρύτερο φάσμα πολιτιστικών προτύπων, κανόνων και συνηθειών στην κοινωνία. Για βιομηχανικούς τομείς όπου οι πολίτες δεν είναι άμεσοι αγοραστές των παραγόμενων αγαθών και επομένως δεν έχουν καταναλωτική δύναμη, η κοινωνία μπορεί να απαιτήσει αλλαγή πολιτικής μόνο μέσω πίεσης στους θεσμούς (Giugni, 2004). Ως εκ τούτου, στην περίπτωσή μας, οι ήπιες αποτυχίες μπορούν να συνδεθούν κυρίως με τα θεσμικά όργανα, αν και η πιθανή σύνδεση στην πλευρά της ζήτησης πρέπει να μελετηθεί κατάλληλα όταν οι πολίτες ενεργούν ως καταναλωτές στο τομεακό σύστημα.

Η σύνδεση της ζήτησης με το σύστημα έγκειται κυρίως στη διαδικασία αγοράς μεταξύ αγοραστών και παραγωγών. Από αυτή την άποψη, η ζήτηση μπορεί να συνδεθεί με τα σφάλματα ικανοτήτων (τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε ζήτησης—που μας ενδιαφέρουν στη συγκεκριμένη περίπτωση—και άμεσων φορέων), όπως διαπιστώθηκε από τους Zhang και Liang. Αυτή η σύνδεση βασίζεται στην προθυμία ή την ικανότητα (π.χ. ύπαρξη επαρκών πόρων)

των αγοραστών να αγοράσουν «πιο πράσινα» προϊόντα που μπορεί να είναι ακριβότερα από τα παλιά προϊόντα.

Τέλος, το μπλοκ γνώσης, διαδικασιών μάθησης και τεχνολογιών παρουσιάζεται ως αναδυόμενο μέσα από το μπλοκ των φορέων, είτε μέσω των κύριων παραγόντων που εκμεταλλεύονται την υπάρχουσα βάση γνώσεων, είτε μέσω της ανάπτυξης της καινοτομίας. Ανάλογα με την προέλευση της καινοτομίας, δεδομένου ότι η έρευνα διεξάγεται τόσο από ερευνητικά ιδρύματα όσο και από επιχειρήσεις, η γνώση ρέει στο υπόλοιπο μπλοκ των φορέων. Η γνώση μπορεί να συνδεθεί με δύο τύπους σφαλμάτων: σφάλματα σε επίπεδο υποδομών, όπως υποδομές ΤΠΕ, εγκαταστάσεις ενεργειακού εφοδιασμού ή δοκιμών, και σφάλματα ικανοτήτων από την πλευρά των άμεσων φορέων, που σχετίζονται με την ικανότητα των φορέων να κάνουν το άλμα και να προσαρμοστούν στις νέες τεχνολογίες.

3.4 Το βιομηχανικό SIS της Γερμανίας

Η Βιομηχανική Επανάσταση στη Γερμανία ξεκίνησε στα μέσα του 19ου αιώνα. Οι τοπικές κυβερνήσεις ανέπτυξαν γρήγορα ένα σιδηροδρομικό δίκτυο για να ελαχιστοποιήσουν τις αποστάσεις στη χώρα, μειώνοντας το κόστος του περιφερειακού εμπορίου, καθιστώντας έτσι εφικτή την εξυπηρέτηση απομακρυσμένων αγορών από κεντρικές τοποθεσίες και παρέχοντας κίνητρα στους κατασκευαστές να συγκεντρώσουν την παραγωγή σε κεντρικές περιοχές και γύρω από ανθρακωρυχεία. Στην κοιλάδα του Ρουρ, τα ανεπτυγμένα ανθρακωρυχεία βοήθησαν τη Γερμανία να γίνει ο μεγαλύτερος παραγωγός άνθρακα στην Ευρώπη. Η συγκέντρωση κοιτασμάτων άνθρακα στην κεντρική Γερμανία εξηγεί τα υψηλότερα ποσοστά βιομηχανικής απασχόλησης στις πλούσιες σε άνθρακα περιφέρειες, σε σύγκριση με τις γερμανικές περιφέρειες που αποτελούσαν παραδοσιακά βιομηχανικά κέντρα (Gutberlet, 2013). Ως συνέπεια, η βιομηχανία χάλυβα αναπτύχθηκε σημαντικά, συμπαρασύροντας την ανάπτυξη του εθνικού χρηματοπιστωτικού τομέα και της κεφαλαιαγοράς, και προκαλώντας την ανάπτυξη και άλλων βιομηχανιών όπως ή βιομηχανία χημικών και ο ηλεκτρικός τομέας στο τελευταίο μέρος του 19ου αιώνα, με τη γερμανική βιομηχανία χημικών να γίνεται η πιο προηγμένη παγκοσμίως. Οι τεχνολογίες χρήσης άνθρακα που εφευρέθηκαν κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα βελτιώθηκαν σταδιακά και υιοθετήθηκαν όλο και περισσότερο κατά τους επόμενους αιώνες (Fernihough and O'Rourke, 2014).

<u>Φορείς και δίκτυα</u>

Η γερμανική βιομηχανία περιλαμβάνει ένα προηγμένο δίκτυο διασυνδεδεμένων φορέων στο οποίο μπορεί να διαχυθεί η γνώση και η καινοτομία. Σε μακροοικονομικό επίπεδο και με το ένα τέταρτο του ΑΕΠ της χώρας να προέρχεται από βιομηχανικά προϊόντα, η Ομοσπονδία Γερμανικών Βιομηχανιών (BDI) και οι Ενεργοβόρες Βιομηχανίες στη Γερμανία αποτελούν δίκτυα βιομηχανικών ενώσεων που εκπροσωπούν συμφέροντα διαφόρων τομέων στη λήψη αποφάσεων πολιτικής, και στόχος τους είναι να προβάλλουν τον αντίκτυπο που έχει η βιομηχανία στην κοινωνία. Από ερευνητική άποψη, η Γερμανική Ένωση Τεχνικών και Επιστημονικών Εταιρειών παρέχει συστάσεις πολιτικής για την επιστημονική πρόοδο σε τεχνικά θέματα περιλαμβάνοντας χιλιάδες οργανισμούς. Οικονομικά, η Germany Trade & Invest συνδέει τις εγχώριες επιχειρήσεις με την παγκόσμια αγορά για να ενεργοποιήσει επενδύσεις, βοηθώντας επίσης ξένες επιχειρήσεις που εγκαθίστανται στη Γερμανία.

Οι δραστηριότητες αυτές υποστηρίζονται από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Οικονομικών Υποθέσεων και Ενέργειας (BMWi), την κορυφαία αρχή για τη ρύθμιση της βιομηχανικής πολιτικής και βασικό φορέα στη χρηματοδότηση δραστηριοτήτων Ε&Α. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για υποτομείς όπως τα χημικά προϊόντα, οι οποίοι περιλαμβάνουν κυρίως μικρές και μικρομεσαίες επιχειρήσεις που βασίζονται σε δημόσιες επενδύσεις και φορολογικά κίνητρα για τη χρηματοδότηση δράσεων Ε&Α. Το BMWi υποστηρίζει επίσης πανεπιστήμια και μη ακαδημαϊκούς ερευνητικούς οργανισμούς.

Αναφορικά με τη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, η Γερμανική Ομοσπονδία Χάλυβα (WV Stahl) είναι ένας σημαντικός φορέας που επηρεάζει τόσο την εθνική βιομηχανία χάλυβα όσο και την παγκόσμια αγορά. Επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού πολιτικο-οικονομικού περιβάλλοντος για τις γερμανικές χαλυβουργικές επιχειρήσεις ώστε να είναι ανταγωνιστικές, βοηθώντας πολλά αυτόνομα ινστιτούτα όπως το VDEh Steel Institute, το Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Έρευνας VDEh (με στόχο και την προώθηση συνεργασιών δημόσιου-ιδιωτικού τομέα), και την Ένωση Ερευνών για Εφαρμογές Χάλυβα και το Κέντρο Πληροφόρησης από Ανοξείδωτο Χάλυβα, να προωθήσουν την καινοτομία και να διεξάγουν εφαρμοσμένη έρευνα.

Οι βιομηχανικές εταιρείες στον παρασκευαστικό τομέα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, με τις τοπικές και παγκόσμιες δραστηριότητες και εξαγωγές να αποτελούν βασική δραστηριότητα, ενώ έμφαση δίνεται και στην προώθηση της καινοτομίας. Ενδεικτικά, η Siemens VAI ήταν ο κορυφαίος ερευνητικός φορέας για την

καθιέρωση των διαδικασιών παραγωγής σιδήρου COREX και FINEX (Hasanbeigi, 2014). Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες μπορεί να προκαλούν αστάθειες στο σύστημα, όπως ο καθορισμός των τιμών (Schuetze and Seythal, 2019).

Η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου παρουσιάζει ποικιλομορφία στη δόμηση της σε σύγκριση με αυτή του χάλυβα: σε αντίθεση με τις περισσότερες δραστηριότητες που προέρχονται από βασικούς παίκτες στον τομέα του χάλυβα, το τσιμέντο παράγεται τόσο από μεγάλες όσο και από μεσαίες επιχειρήσεις. Θεσμικά, βασικός φορέας είναι η Γερμανική Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών (VDZ) που εκπροσωπεί συμφέροντα τσιμεντοβιομηχανιών με πωλήσεις πολλών δισεκατομμυρίων ευρώ. Όπως και η WV Stahl, η VDZ αποτελεί ένα δίκτυο οργανώσεων, το οποίο εκπροσωπεί τις γερμανικές τσιμεντοβιομηχανίες και προωθεί τη διάδοση της γνώσης, της τεχνολογίας και της έρευνας. Αυτές οι δραστηριότητες αναπτύσσονται περαιτέρω από το Ερευνητικό Ινστιτούτο και Οργανισμό Μετρήσεων για το Περιβάλλον για την αποτελεσματική παρακολούθηση των μονάδων παραγωγής, η οποία είναι ανεξάρτητη από το VDZ διασφαλίζοντας την αξιοπιστία της έρευνας. Η PÜZ και η FIZ-Zert είναι υπεύθυνες για την πιστοποίηση των προϊόντων σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Η γερμανική βιομηχανία χημικών έχει μια εντελώς διαφορετική δομή λόγω της πληθώρας των παραγόμενων αγαθών. Βασικό χαρακτηριστικό είναι το υψηλό ποσοστό μικρομεσαίων επιχειρήσεων, που αντιπροσωπεύουν το 90% του συνολικού εργατικού δυναμικού, και οι οποίες επωφελούνται από τις αυξημένες ανάγκες καινοτομίας ώστε να διαμορφώσουν επιχειρηματικά μοντέλα γύρω από την έρευνα (Schmidt and Minssen, 2007). Η Γερμανική Ένωση Χημικών Βιομηχανιών (VCI) είναι η κύρια ένωση στον τομέα των χημικών προϊόντων που εκπροσωπεί περισσότερες από 1,700 εταιρείες, οργανωμένες σε τριάντα θεματικές ομάδες ανάλογα με τον υποτομέα λειτουργίας (Kahl and Desel, 2003), αποδεικνύοντας περαιτέρω τη διαρθρωτική πολυπλοκότητα του τομέα. Η εν λόγω ποικιλομορφία οδηγεί σε δυσκολίες στην ίδρυση ερευνητικών οργανισμών: εκτός από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τις μεγάλες εταιρείες, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας του τομέα τροφοδοτείται από ινστιτούτα όπως το Max Planck, το Fraunhofer, οι ενώσεις Helmholtz και Leibniz.

Θεσμοί

Σε πολιτικό επίπεδο, η Γερμανία στοχεύει να διατηρήσει τον ρόλο ενός έθνους με σημαντικό βιομηχανικό τομέα, εφαρμόζοντας παράλληλα αποτελεσματικές δράσεις μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η διπλή πρόκληση αντικατοπτρίζεται περαιτέρω στις προσπάθειες

των βιομηχανικών ενώσεων να ασκήσουν πιέσεις και να εμποδίσουν ρυθμιστικές παρεμβάσεις και μεταρρυθμίσεις ή να υποβαθμίσουν πολιτικές και να τις ανάγουν σε εθελοντικές δράσεις (Markussen and Svendsen, 2005). Οι προσπάθειες αυτές ενισχύονται περαιτέρω από τη βιομηχανική νοοτροπία της γερμανικής κοινωνίας (Liebmann and Kuder, 2012), καθώς η τοπική κοινωνία μπορεί να αντιταχθεί σε πρωτοβουλίες που επηρεάζουν την προστιθέμενη αξία της βιομηχανίας σε συγκεκριμένες περιφέρειες, οδηγώντας σε πιο συντηρητικές προσεγγίσεις που δεν απειλούν τα συμφέροντά/ανάγκες τους (Wesseling and Van der Vooren, 2017).

Η Γερμανία εισήγαγε μια πρώτη έκδοση των εγγυημένων τιμών (feed-in tariffs) το 1991, με το νόμο να υποχρεώνει τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας να αγοράζουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) σε προνομιακές τιμές, εξασφαλίζοντας πρόσβαση στο δίκτυο σε ενέργεια από ΑΠΕ (IEA, 2013). Η παραγωγή από ΑΠΕ ενθαρρύνθηκε επίσης μέσω του νόμου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Lauber and Jacobsson, 2016), ο οποίος θεσπίστηκε το 2000 και αναθεωρήθηκε το 2014 και το 2017, θέτοντας στόχο για την παραγωγή ΑΠΕ τουλάχιστον 80% έως το 2050. Ως μέρος μιας συνολικότερης στρατηγικής, η ενεργειακή ιδέα (Energiekonzept) εισήχθη το 2010 θέτοντας ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050, ενώ το σχέδιο για την ενεργειακή μετάβαση Energiewende στόχευε στην σταδιακή απόσβεση της χρήσης πυρηνικής ενέργειας και στην περαιτέρω μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων (Renn and Marshall, 2016).

Το 1964 νομοθετήθηκε ο γερμανικός κανονισμός για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνοντας τεχνικές οδηγίες ελέγχου της ποιότητας του αέρα (TA Luft), θέτοντας τα πρώτα όρια όσον αφορά την ποιότητα του αέρα (Hartung, 1986). Η TA Luft έχει έκτοτε αναθεωρηθεί και ενισχυθεί πολλές φορές (π.χ., Federal Immission Control Act το 1974), καθορίζοντας αυστηρότερα όρια για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, οδηγώντας στην αναθεώρησή της το 2014, η οποία ενσωμάτωσε την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις Βιομηχανικές Εκπομπές (Industrial Emissions Directive - IDE) στην εθνική νομοθεσία (Drotloff, 2014), η οποία αποσκοπούσε στο να υποχρεώσει τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις να λειτουργούν σύμφωνα με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (Best Available Techniques – BAT), δημιουργώντας νομικά δεσμευτικά συμπεράσματα που καθορίζουν νέα όρια εκπομπών (Roudier et al., 2013). Αυτό ήταν κρίσιμο για τη Γερμανία, δεδομένου ότι σχεδόν 10,000 από τις συνολικά 45,000 άδειες που εκδόθηκαν βάσει της οδηγίας IPPC — μια προηγούμενη έκδοση της οδηγίας IED — αφορούσαν γερμανικές εγκαταστάσεις (Conti et al., 2015).

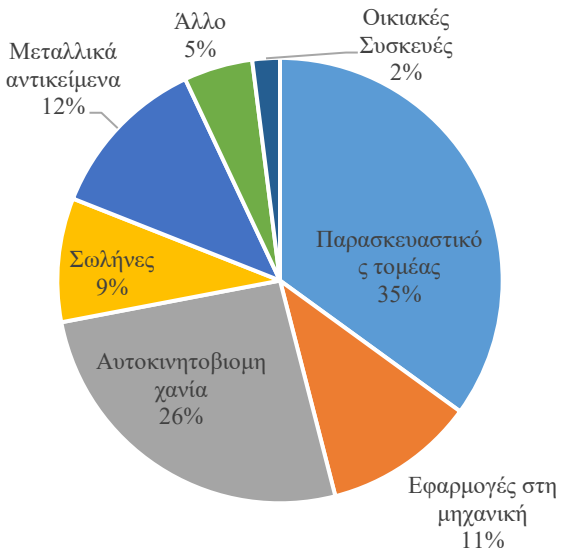
Σε συνδυασμό με την οδηγία IDE, οι ενεργοβόρες εγκαταστάσεις υποχρεούνται να εκπληρώνουν τους στόχους εκπομπών σύμφωνα με το EU-ETS και να αγοράζουν δικαιώματα εκπομπών (Rogge and Hoffmann, 2010). Η εφαρμογή του EU-ETS της ΕΕ αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία: η παραγωγή τσιμέντου, σίδηρου και ο χάλυβα είναι ευάλωτη, δεδομένου ότι θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο το 60% και το 25% της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας τους αντίστοιχα (Graichen et al., 2008). Για την προστασία τους, το EU-ETS της ΕΕ περιλάμβανε τη σταδιακή μετάβαση στην ανάγκη αγοράς των εκπομπών, μέσω δωρεάν δικαιωμάτων, με στόχο τη σταθερή μείωσή τους έως το 2020. Ωστόσο, για να αποτραπεί η εμφάνιση ανθρακικής διαρροής (carbon leakage) (Naegele and Zaklan, 2019), τα δωρεάν δικαιώματα συνεχίστηκαν με μειωμένο ποσοστό (European Commission, 2020a). Για τις γερμανικές εγκαταστάσεις, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνουν σημαντικές προσαρμογές για να προσαρμοστούν στις αυξανόμενες εκπομπές για τις οποίες μπορεί να κληθούν να αγοράσουν δικαιώματα.

Οι αλλαγές αυτές οδήγησαν σε αυξημένο κόστος για τους φορείς του συστήματος, δεδομένου ότι οι μεγάλες εταιρείες έχουν ήδη εκδηλώσει ενδιαφέρον για την υλοποίηση δράσεων για τη μείωση των εκπομπών ζητώντας στήριξη, αλλά είναι απρόθυμες λόγω έλλειψης βιώσιμων επιχειρηματικών σχεδίων (Wehrmann, 2020). Το 2019, το BMWi δημοσίευσε ένα προσχέδιο της Εθνικής Βιομηχανικής Στρατηγικής 2030, με στόχο την ενίσχυση της βιομηχανικής ανταγωνιστικότητας στη Γερμανία, προωθώντας παράλληλα την καινοτομία. Ωστόσο, αυτό εξακολουθεί να συζητείται ανοιχτά, κυρίως λόγω της έντονης κριτικής που δέχτηκε για τις υπερεκτιμήσεις και τον συγκεντρωτισμό (Kiel Institute of World Economics, 2020; American Institute for Contemporary German Studies, 2019).

Ζήτηση

Το 2019, η γερμανική βιομηχανία παρουσίασε σημάδια ύφεσης που αντανακλώνται στους χαμηλότερους όγκους παραγωγής (Federal Statistical Office of Germany, 2019). Οι βασικές προκλήσεις που αντιμετώπισε η αυτοκινητοβιομηχανία (Canzler, 2020) ευθύνονται εν μέρει για την παρατηρούμενη ύφεση (Arnold, 2019), καθώς η σημασία της αντικατοπτρίζεται τόσο στην τελική παραγωγή όσο και στα μεμονωμένα προϊόντα που καταναλώνει. Αυτό σκιαγραφεί δύο σημαντικές επιπτώσεις που έχει η ζήτηση στη βιομηχανία: άμεσο αντίκτυπο όσον αφορά την ανάπτυξη, σε απόλυτους αριθμούς. Και έμμεση επιρροή που θα μπορούσαν να έχουν οι προτιμήσεις των καταναλωτών (στην συγκεκριμένη περίπτωση η αυτοκινητοβιομηχανία) στη διάδοση της γνώσης και της καινοτομίας (Malerba and Pisano, 2019). Στην Εικόνα 3.6

απεικονίζονται μερίδια της κατανάλωσης χάλυβα στη Γερμανία ανά τομέα ζήτησης (Stahl, 2020), τα οποία παραμένουν ιστορικά σταθερά (Hummen and Ostertag, 2015), με τον παρασκευαστικό τομέα, τη μηχανολογία και την αυτοκινητοβιομηχανία να αποτελούν σημαντικούς καταναλωτές.



Εικόνα 3.6. Μερίδια κατανάλωσης χάλυβα ανά τομέα στη Γερμανία το 2017

Η γερμανική βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα παράγει δεκάδες εκατομμύρια τόνους ακατέργαστου χάλυβα, με 13.3 από αυτούς να εξάγονται το 2017 σε κορυφαίες αγορές χάλυβα όπως η Γαλλία και η Πολωνία (International Trade Administration, 2017). Η Γερμανία συγκαταλέγεται επίσης μεταξύ των πέντε κορυφαίων αγορών αιολικής ενέργειας στον κόσμο (Global Wind Energy Council, 2019). Η ζήτηση χάλυβα για την κατασκευή ανεμογεννητριών θα μπορούσε επομένως να οδηγήσει σε παραγωγή πράσινης ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας, ξεπερνώντας την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή χάλυβα.

Όπως και στην περίπτωση του σιδήρου και του χάλυβα, η τσιμεντοβιομηχανία επηρεάζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τους καταναλωτές. Τουλάχιστον το 30% της συνολικής κατανάλωσης τσιμέντου χρησιμοποιείται από τον κατασκευαστικό τομέα (VDZ, 2020). Η κατανάλωση είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τη συνολική παραγωγή (άνω των 30 εκατομμυρίων τόνων) (Supino et al., 2016), με αποτέλεσμα οι σημαντικές εξαγωγές να μετριάζουν τους κινδύνους που μπορεί να προκληθούν από την πλευρά της ζήτησης.

Τα χημικά προϊόντα, με κύκλο εργασιών περίπου 200 δισεκατομμύρια ευρώ το 2018, είναι ένας άλλος κλάδος που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εξαγωγές, οι οποίες ξεπέρασαν τα 90 δισεκατομμύρια ευρώ εκείνο το έτος, με τη Γερμανία να καταγράφει το υψηλότερο εμπορικό πλεόνασμα μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών-μελών (Eurostat, 2019). Αποτελεί επίσης ενδιάμεσο κρίκο για άλλες βιομηχανίες, δεδομένου ότι το 90% των χημικών προϊόντων χρησιμοποιείται σε πολλαπλές βιομηχανικές διαδικασίες (Keller et al., 2020). Κατά συνέπεια, οι προκλήσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας επηρέασαν και τον τομέα παραγωγής χημικών, βιώνοντας σημάδια κρίσης παρά μια γενικότερη ανάπτυξη του υποτομέα των φαρμακευτικών προϊόντων (Alkousaa and Martin, 2019; Stephan, 2019).

Οι πολιτικές απανθρακοποίησης επηρεάζουν όχι μόνο αυτούς τους τομείς, αλλά και τους καταναλωτές τους, με τα προβλήματα στη ζήτηση να μεταφέρονται ως συνολικότερες προκλήσεις του τομέα, όπως φαίνεται και από τις γενικευμένες επιπτώσεις της χρηματοπιστωτικής κρίσης του 2008 όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές και την ένταση των εκπομπών που αντικατοπτρίζονται στις Εικόνες 3.1, 3.2 και 3.4. Ειδικά για τη γερμανική βιομηχανία, όπου η αυτοκινητοβιομηχανία αποτελεί σημαντική κινητήρια δύναμη της οικονομικής προόδου (Kädtler and Sperling, 2002), οι τεχνολογικές ανάγκες των καταναλωτών έχουν τη δυνατότητα να κατευθύνουν την έρευνα και την καινοτομία προς αποδοτικότερες τεχνικές, φανερώνοντας τη συμβολή του μπλοκ στην ανάπτυξη του SIS.

Γνώση, διαδικασίες μάθησης και τεχνολογίες

Το τεχνολογικό καθεστώς του τομέα της βιομηχανίας περιλαμβάνει διαφορετικές βάσεις γνώσης σε κάθε υποτομέα, με κοινό γνώμονα ωστόσο ότι οι διεργασίες που συνοδεύουν την παραγωγή σιδήρου, χάλυβα, τσιμέντου και χημικών προϊόντων θεωρούνται συνήθως ενεργοβόρες (Fischedick et al., 2014; Khurana et al., 2002; Luis and Van der Bruggen, 2014), με τη ενεργειακή απόδοση της βιομηχανίας και τις νέες πρακτικές να λαμβάνουν αυξανόμενη προσοχή τόσο σε επίπεδο πολιτικής όσο και έρευνας (Thollander and Ottosson, 2010).

Η χαλυβουργία στη Γερμανία κυριαρχείται από τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Η μέθοδος βασισμένη στη χρήση υψικαμίνου και κλιβάνου οξυγόνου (blast-furnace and basic oxygen furnace - BF-BOF) είναι υπεύθυνη για σχεδόν το 70% της συνολικής παραγωγής, με το υπόλοιπο να παράγεται κυρίως από κάμινο βολταϊκού τόξου (electric arc furnace – EAF) και σε μικρότερο βαθμό από ένα μόνο εργοστάσιο παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (direct reduced iron - DRI) (Arens et al., 2017). Μεταξύ του 1991 και του 2007, στην παραγωγή χάλυβα αυξήθηκαν

σταδιακά τα μερίδια των EAF, οδηγώντας σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (μιας και η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί κατά περίπου τρεις φορές λιγότερη ενέργεια από την BF-BOF) (Arens et al., 2012) και στη σχετικά χαμηλή ένταση CO2 του γερμανικού σιδήρου και χάλυβα.

Αντιπροσωπεύοντας το 2.9% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Γερμανίας (Brunke and Blesl, 2014), οι διαδικασίες παραγωγής τσιμέντου διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη βιομηχανική κατανάλωση ενέργειας. Μετά την επανένωση, έχει σημειωθεί πρόοδος όσον αφορά την αποδοτικότητα (Supino et al., 2016). Οι Usón et al. (2013) παρατήρησαν ομοίως υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από εναλλακτικά καύσιμα, όπως κρεατάλευρα και οστεάλευρα, λυματολάσπη και βιομάζα, σχεδόν στο 60%.

Στην παραγωγή χημικών ουσιών, οι κυρίαρχες διεργασίες ποικίλλουν σημαντικά, λόγω της διαφοροποίησης των τελικών προϊόντων. Οι χημικές ουσίες αντιπροσωπεύουν το 19% της συνολικής βιομηχανικής κατανάλωσης ενέργειας, η οποία αποδίδεται κυρίως στο αιθυλένιο, το χλώριο, την αιθάλη, την αμμωνία, τη μεθανόλη και τα πολυμερή (Bühler et al., 2018). Η σύνθεση αμμωνίας εξακολουθεί να βασίζεται στη διαδικασία Haber-Bosch του 1908 (Erisman et al., 2008), και παρά το γεγονός ότι θεωρείται ενεργοβόρα (Kuntke et al., 2012), η γεωργική χρησιμότητα του τελικού προϊόντος (Hawkesford, 2014) υπερτερεί των αρνητικών επιπτώσεων από την παραγωγή της. Ομοίως, η παραγωγή αιθυλενίου από πυρόλυση νάφθα, το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται στη Γερμανία, θεωρείται επίσης ενεργοβόρα διαδικασία (Ghanta et al., 2014).

Προφανώς, τα τεχνολογικά «σύνορα» της γερμανικής βιομηχανίας είναι σχετικά αυστηρά, δεδομένης της αντοχής ορισμένων διαδικασιών ως κυρίαρχων μεθόδων παραγωγής στην διάρκεια του χρόνου παρά τον ενεργοβόρο χαρακτήρα τους. Ως εκ τούτου, πρέπει να γίνουν διαρθρωτικές προσαρμογές ώστε ο τομέας να αντιμετωπίσει την αυξημένη ανάγκη για την απανθρακοποίηση της βιομηχανίας (Lechtenböhmer et al., 2016). Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες εγκαταστάσεις προσπάθησαν ήδη να αντιμετωπίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων τους, εφαρμόζοντας τις BAT (Roudier et al., 2013; Schorcht et al., 2013; Falcke et al., 2017). Ωστόσο, περαιτέρω βελτιώσεις που συμμορφώνονται με τις BAT υπόκεινται σε περιορισμούς ως προς το δυναμικό εξοικονόμησης για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων (Fischedick et al., 2014; Arens et al., 2017). Ένα παράδειγμα μετάβασης σε παραγωγή μικρότερης έντασης CO2 επιχειρήθηκε όταν η ArcelorMittal άνοιξε το πρώτο εργοστάσιο DRI στο Αμβούργο. Η διαδικασία DRI θα μπορούσε να δημιουργήσει σίδηρο υψηλής ποιότητας για χρήση σε EAF λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για παλιοσίδερα (Kopfle and

Hunter, 2008). Ωστόσο, το γεγονός ότι η μέθοδος DRI είναι ακριβή (Arens et al., 2017) περιόρισε την περαιτέρω διάδοση. Ως αποτέλεσμα, η επίτευξη των φιλόδοξων στόχων της γερμανικής πολιτικής απαιτεί ρηξικέλευθες καινοτομίες, ξεπερνώντας στρατηγικά τα όρια των επιμέρους υποτομέων (Gassmann et al., 2010), διατηρώντας παράλληλα την οικονομική βιωσιμότητα της βιομηχανίας.

Μια τεχνολογία με πιθανή συνεισφορά στην απανθρακοποίηση της βιομηχανίας αποτελεί το CCS. Συγκεκριμένα, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις στη Γερμανία μπορούν να σχηματίσουν τοπικούς συνεργατικούς σχηματισμούς, οι οποίοι θεωρητικά θα μπορούσαν να αποτελέσουν ιδανικούς χώρους για την εφαρμογή εγκαταστάσεων CCS (Leeson et al., 2017) και άρα τη μείωση των εκπομπών CO2 στους εξεταζόμενους υποτομείς (Dütschke et al., 2016). Τα εγχώρια έργα CCS βρίσκονται ακόμη σε πιλοτική εφαρμογή, λαμβάνοντας ανάμεικτες αντιδράσεις από την κοινωνία λόγω των αντιληπτών κινδύνων που ενέχει η διαβίωση σε κοντινούς χώρους αποθήκευσης (Dütschke 2012). Η έλλειψη δημόσιας αποδοχής ανάγκασε πολλά έργα να ακυρωθούν ή να ανασταλούν, προκαλώντας οικονομικά, πολιτικά και νομικά ζητήματα (Vögele et al., 2018). Αντιδράσεις του κοινού εντοπίζονται επίσης στη χρήση εναλλακτικών πηγών για τη χημική παραγωγή (Lee, 2019). Δεδομένου ότι η αποδοχή από το κοινό αποτελεί σημαντική κινητήρια δύναμη αλλαγής, τα έργα αυτά θα πρέπει επίσης να επικεντρώνονται στην καλλιέργεια θετικής αντίληψης των τοπικών κοινωνιών.

Μια άλλη πολλά υποσχόμενη τεχνολογία είναι το υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης από ΑΠΕ, γνωστό και ως πράσινο υδρογόνο. Αυτό θα μπορούσε να ωφελήσει τον σίδηρο και τον χάλυβα, καθώς το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του κοκ (καθαρός άνθρακας) στην παραγωγή του σιδηρομεταλλεύματος, αλλά και για την παραγωγή αμμωνίας (Forsberg, 2007). Οι ιδιωτικές εταιρείες φαίνεται να ενδιαφέρονται για τη διάδοση τεχνολογιών που βασίζονται στο υδρογόνο. Η Salzgitter ξεκίνησε έργο για το υδρογόνο με στόχο την ανάπτυξη κυψέλης υψηλών θερμοκρασιών (Schwarze et al., 2017; Vogl et al., 2018). Η ArcelorMittal εργάζεται επίσης σε ένα πειραματικό έργο υδρογόνου στο εργοστάσιο DRI του Αμβούργου, για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών της. Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι η βιομηχανία ενδιαφέρεται για το υδρογόνο, με πολλούς ενδιαφερόμενους φορείς της χώρας να ζητούν μια στρατηγική υδρογόνου από την κυβέρνηση, σε συνδυασμό με τις προσπάθειες για μια «ευρωπαϊκή στρατηγική για το υδρογόνο» (Amelang, 2020).

Η ενθάρρυνση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας στη Γερμανία παρέχει μια μεγάλη ευκαιρία για την εμφάνιση του «πράσινου» υδρογόνου, ενώ η εκμετάλλευση των μονάδων DRI δείχνει έναν ορισμένο βαθμό αθροιστικής γνώσης (cumulativeness), παρά τη γενικά καθιερωμένη βάση γνώσεων. Ταυτόχρονα, η έρευνα είναι επίσης προσβάσιμη σε επιχειρήσεις ακόμη και από εξωτερικές πηγές, όπως ερευνητικά ιδρύματα. Παρόλα αυτά, συνολικά, η «ευκαιρία» για το βιομηχανικό καθεστώς δεν παρέχεται μέσω ισχυρών κινήτρων, αλλά κυρίως ως αποτέλεσμα του φόβου για αυξημένο κόστος από τις εκπομπές CO2.

3.5 Το βιομηχανικό SIS του Ηνωμένου Βασιλείου

Μεταξύ του 1770 και 1850, το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν από τις πρώτες χώρες στην οποία εμφανίστηκε η βιομηχανική επανάσταση, με την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, βασισμένη κυρίως σε εμπειρικές μεθόδους, μετρώντας έναν θεαματικό αριθμό από διπλώματα ευρεσιτεχνίας για την παραγωγή χάλυβα από ανθρώπους που δεν είχαν καθαρά βιομηχανικό υπόβαθρο (Spear, 2019). Βασισμένες σε μια αφθονία παροχής άνθρακα, οι βιομηχανικές καινοτομίες αυξήθηκαν παρέχοντας φθηνή ενέργεια και προσοδοφόρο εξαγωγικό εμπόριο, για την ανάπτυξη της μηχανικής, των σιδηροδρόμων, των κατασκευών, της ναυπηγικής βιομηχανίας. Ιστορικά, κατά τη διάρκεια του 1600, η παραγωγή σιδήρου της Αγγλίας ήταν περίπου 20,000 τόνοι/έτος, μια τιμή που δεν διέφερε πολύ μέχρι το 1750, με το ανθρακωρυχείο Shropshire να αποτελεί το κέντρο παραγωγής σιδήρου από τον 16ο αιώνα. Το 1767 χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες σιδερένιες ράγες και, το 1781, χτίστηκε η πρώτη γέφυρα από χυτοσίδηρο. Η ταχεία ανάπτυξη ήταν ένα ερέθισμα για την εφαρμογή νέων βιομηχανικών μεθόδων, όπως η χρήση κοκ σε κλίβανο αντήχησης για τη σφυρηλάτηση σιδήρου (Spear, 2014).

<u>Φορείς και δίκτυα</u>

Όπως και στη Γερμανία οι ενεργοβόρες βιομηχανίες απαρτίζονται κυρίως από μεγάλες πολυεθνικές βιομηχανίες και κάποιες μεσαίες επιχειρήσεις, με τις πρώτες να επηρεάζουν συνήθως τις τιμές (Dobson and Waterson, 2007). Ωστόσο, και οι πολυεθνικές με τη σειρά τους εξαρτώνται επίσης από τις μεσαίες επιχειρήσεις, καθώς αυτές αντιπροσωπεύουν σημαντικό μέρος των πωλήσεών τους. Η διάρθρωση της βιομηχανίας σιδήρου και χάλυβα έχει υποστεί σημαντική αναδιάρθρωση, από την ιδιωτικοποίηση του 1988 (Kim et al., 2006) έως τις συγχωνεύσεις και τις εξαγορές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000 (Sourisseau, 2018). Το ίδιο ισχύει και για τον τομέα των χημικών προϊόντων, όπου η παγκόσμια αναδιαμόρφωση

οδήγησε στη σύσταση εταιρειών μέσω συγχωνεύσεων (Burgess et al., 2002), αν και ο τομέας περιλαμβάνει πολλές μικρομεσαίες επιχειρήσεις (Lampadarios, 2016), λόγω του μεγάλου φάσματος προϊόντων (όπως και στη Γερμανία).

Μια εξέχουσα βιομηχανική ένωση που δραστηριοποιείται τόσο εντός όσο και εκτός των συνόρων του Ηνωμένου Βασιλείου είναι η Συνομοσπονδία Βρετανικής Βιομηχανίας (CBI), η οποία αριθμεί μέλη που αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ένα τρίτο του εργατικού δυναμικού του ιδιωτικού τομέα. Οι κύριοι σκοποί της περιλαμβάνουν την προώθηση των επιχειρηματικών συμφερόντων του Ηνωμένου Βασιλείου ασκώντας πίεση στην κυβέρνηση, τη δημιουργία δικτύων συνεργασίας, την ανάλυση πολιτικής και τη μεταφορά γνώσης. Η MAKE UK είναι μια ομοσπονδία που αποτελείται από διάφορες κατασκευαστικές και τεχνολογικές εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων των παραγωγών προϊόντων σιδήρου και χάλυβα, με κύριο σκοπό την παροχή συμβουλών σχετικά με το κλίμα, το περιβάλλον και την απασχόληση. Μια παρόμοια εμπορική ένωση που παρέχει συμβουλές σε βιομηχανικούς φορείς είναι η Ένωση Ορυκτών Προϊόντων, η οποία αποτελείται από επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται ή παράγουν, μεταξύ άλλων, τσιμέντο. Τέλος, η Ένωση Χημικών Βιομηχανιών εκπροσωπεί ενεργοβόρες επιχειρήσεις που παράγουν χημικά και φαρμακευτικά προϊόντα.

Το Ηνωμένο Βασίλειο φιλοξενεί μερικά από τα υψηλότερου κύρους πανεπιστήμια στον κόσμο, όπως το Cambridge, η Οξφόρδη και το Imperial College. Το τελευταίο έχει καθιερώσει ένα πρόγραμμα συνεργασίας, με στόχο να φέρει πιο κοντά φοιτητές και επιχειρήσεις, όσον αφορά την απασχόληση και τις νέες βιομηχανικές τεχνολογίες. Το ένα τρίτο του προϋπολογισμού για το ερευνητικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου του Cambridge, που είναι προσαρμοσμένο σε βιομηχανικά θέματα, προέρχεται από συνεργασίες με βιομηχανικές εταιρείες. Το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης παρέχει συμβουλευτικές υπηρεσίες σε διάφορες βιομηχανίες, διευκολύνοντας την κεφαλαιοποίηση της πανεπιστημιακής έρευνας σε πραγματικές εφαρμογές. Ως εκ τούτου, η χώρα είναι πρωτοπόρος στην τεχνολογική έρευνα, έχοντας παράγει το 14% των δημοσιεύσεων με τις περισσότερες παραπομπές (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2019), γεγονός που συνδέεται στενά με την προσέλκυση σημαντικών επενδύσεων στην έρευνα (Her Majesty's Treasury, 2020; Centre for Global Higher Education, 2017). Εκτός από την έρευνα που διεξάγεται στα πανεπιστήμια, η κυβέρνηση χρηματοδοτεί πολλά ερευνητικά προγράμματα και πρωτοβουλίες, όπως το Industrial Strategy Challenge Fund, στο πλαίσιο της βιομηχανικής στρατηγικής για απανθρακοποίηση του τομέα.

Το Υπουργείο Επιχειρήσεων, Ενέργειας και Βιομηχανικής Στρατηγικής (BEIS) παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της βιομηχανικής μετάβασης, με στόχο τη διασφάλιση ενός καθαρού ενεργειακού συστήματος με χαμηλό κόστος για τη χώρα. Οι αρμοδιότητες του Υπουργείου Επικρατείας για τα Πανεπιστήμια, την Επιστήμη, την Έρευνα και την Καινοτομία περιλαμβάνουν μεταρρυθμίσεις υπό την κοινή διαχείριση του Υπουργείου Παιδείας και του BEIS, ώστε να παρακινήσουν τα πανεπιστήμια να ασχοληθούν περαιτέρω με την περιβαλλοντική έρευνα στη βιομηχανία. Τέλος, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων στοχεύει επίσης στην αειφόρο ανάπτυξη, η οποία συνδέεται άμεσα με τη χρήση καθαρότερων, λιγότερο ενεργοβόρων τεχνολογιών (ειδικά στο κομμάτι των χημικών προϊόντων).

Τέλος, η Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, μια μη κυβερνητική δημόσια οργάνωση, έχει ως στόχο να συμβουλεύσει την κυβέρνηση για την επίτευξη τις μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Η επιτροπή αξιολογεί και παρουσιάζει την πρόοδο της μετάβασης της χώρας και υποστηρίζει την κυβέρνηση στην διαμόρφωση ειδικών μονοπατιών για τη βιομηχανία.

Θεσμοί

Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν κράτος-μέλος της ΕΕ μέχρι τις 31 Ιανουαρίου 2020. Η περιβαλλοντική νομοθεσία περιλαμβάνει την εθνική και την ευρωπαϊκή (όπως και η Γερμανία), με τις υποχρεώσεις έναντι της τελευταίας να βρίσκονταν σε διαπραγματεύσεις για μεγάλο διάστημα.

Το 2008, η χώρα νομοθέτησε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο περιβαλλοντικής αδειοδότησης, στο οποίο οι βιομηχανικές επιχειρήσεις έπρεπε να αποκτήσουν περιβαλλοντική άδεια λειτουργίας. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις υποχρεόντουσαν να παραμείνουν εντός των ορίων εκπομπών της άδειας και να αναβαθμίσουν ανάλογα τα σχέδια παραγωγής για να παραμείνουν σε λειτουργία. Ο αναθεωρημένος νόμος για το κλίμα νομοθετήθηκε το 2019, καθιστώντας το Ηνωμένο Βασίλειο μία από τις πρώτες χώρες που πρόκειται να επιτύχουν καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050, με επιπτώσεις και στους τρεις υποτομείς που αναλύουμε.

Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν υποχρεωμένο μέχρι πρότινος να εφαρμόσει διάφορες πτυχές της ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως η IDE, οι BAT (European Commission, 2020b) και το EU-ETS που θέτει ολοένα και αυστηρότερα όρια για τις εταιρείες και τις βιομηχανίες όσον αφορά τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος. Η υφιστάμενη νομοθεσία της ΕΕ θα παρέμεινε σε ισχύ έως το τέλος του 2020, επιτρέποντας στο Ηνωμένο Βασίλειο να επιτύχει ομαλή μετάβαση προς πλήρη

νομοθετική αυτονομία. Μετά το 2020, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου είναι ελεύθερη να διαμορφώσει τις δικές της περιβαλλοντικές πολιτικές, όπως για παράδειγμα η διαμόρφωση του δικού της ETS το 2021.

Ζήτηση

Η βιομηχανία υπήρξε η κινητήρια δύναμη της χώρας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δυόμισι αιώνων, αποτελώντας τον ακρογωνιαίο λίθο της ταχείας ανάπτυξης πολλών άλλων τομέων (και των αντίστοιχων μισθών) όπως η μηχανική, η ναυπηγική βιομηχανία και οι σιδηρόδρομοι (Trew, 2014; Spear, 2019), καθιστώντας το Ηνωμένο Βασίλειο ως μια από τις μεγαλύτερες οικονομίες παγκοσμίως μέχρι σήμερα.

Ο σίδηρος και ο χάλυβας χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές και βιομηχανίες, όπως και στη Γερμανία. Τα τελευταία 25 χρόνια, αν και το εθνικό ΑΕΠ αυξάνεται σταθερά, το ΑΕΠ του τομέα έχει παρουσιάσει αμελητέα μεταβολή, σε αντίθεση με τις υπηρεσίες που διπλασίασαν το ΑΕΠ τους την ίδια περίοδο (Tradingeconomics, 2020). Αυτό δείχνει ότι το οικονομικό μοντέλο του Ηνωμένου Βασιλείου μετατοπίζεται στην προώθηση των υπηρεσιών έναντι των αγαθών, μια μετατόπιση που με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης και άρα της παραγωγής σιδήρου και χάλυβα.

Το τσιμέντο χρησιμοποιείται ευρέως στον οικοδομικό τομέα για την κατασκευή δοκών, δαπέδων, μπλοκ τοίχων, για την κατασκευή υποδομών, όπως γέφυρες, σήραγγες και σιδηρόδρομοι (Shanks et al., 2019). Το ΑΕΠ του κατασκευαστικού τομέα αυξήθηκε κατά σχεδόν 20% από το 1990 (Tradingeconomics, 2020). Ωστόσο, την ίδια περίοδο, η παραγωγή τσιμέντου στο Ηνωμένο Βασίλειο μειώθηκε κατά 50% (British Geological Survey, 2014), και η αυξανόμενη ζήτηση καλύπτεται από εισαγωγές.

Τα χημικά και φαρμακευτικά προϊόντα αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου. Τα πιο συνηθισμένα προϊόντα περιλαμβάνουν πλαστικά και πολυμερή, όπως πολυανθρακικό και πολυαιθυλένιο (Singh, 2012), με γνωστές εταιρείες εγκατεστημένες στο Ηνωμένο Βασίλειο, συμπεριλαμβανομένων μερικών από τις πιο κερδοφόρες φαρμακευτικές βιομηχανίες. Σε αντίθεση με τον σίδηρο, τον χάλυβα και το σκυρόδεμα, η παραγωγή χημικών προϊόντων παρέμεινε σταθερή κατά την τελευταία εικοσαετία, ενώ η προστιθέμενη αξία αυξήθηκε κατά σχεδόν 40% από το 1996, παρουσιάζοντας έντονη ανταγωνιστικότητα, παρά τα φθηνότερα προϊόντα από χώρες όπως η Κίνα λόγω των

χαμηλότερων μισθών και του κόστους παραγωγής. Το ένα τέταρτο της συνολικής παραγωγής πωλείται απευθείας στα νοικοκυριά, πιθανώς λόγω δισταγμού απέναντι σε άγνωστες μάρκες.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η παγκόσμια οικονομία έχει εισέλθει σε μια νέα εποχή. Η παραδοσιακή βιομηχανική κυριαρχία των ΗΠΑ, της ΕΕ και της Ιαπωνίας έχει αρχίσει να μειώνεται, με αρκετές βιομηχανικές υπερδυνάμεις να αναδύονται, συμπεριλαμβανομένου του Μεξικού, της Ινδονησίας, της Ινδίας και της Κίνας. Ιδιαίτερα, η Κίνα έγινε γρήγορα μία από τις μεγαλύτερες οικονομίες στον κόσμο, κυρίως λόγω της ταχείας βιομηχανικής της ανάπτυξης. Η παραγωγή σιδήρου, χάλυβα και τσιμέντου έχει εικοσαπλασιαστεί και καλύπτει περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας ζήτησης (USGS, 2020). Το Ηνωμένο Βασίλειο, μεταξύ άλλων χωρών, έχει αρχίσει να εξαρτάται από τις εισαγωγές από την Κίνα ή άλλες αναδυόμενες χώρες και όχι από τη δική τους βιομηχανία για να καλύψει τη ζήτηση. Έτσι, η εγχώρια παραγωγή αντιμετώπισε σημαντική πτώση, εκτός από τον τομέα των χημικών που παρέμειναν σταθερές, ενώ το ΑΕΠ του τομέα παρέμεινε επίσης σταθερό παρά την αύξηση του εθνικού ΑΕΠ. Η αύξηση του ΑΕΠ του τομέα που δεν σημειώθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο, ταυτόχρονα με τη χρηματοπιστωτική κρίση του 2008 και την περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας, οδήγησαν στην σημαντική αύξηση της έντασης των εκπομπών (Εικόνες 3.1 και 3.4).

Γνώση, διαδικασίες μάθησης και τεχνολογίες

Η BF-BOF είναι η κυρίαρχη τεχνολογία στην παραγωγή σίδηρου και χάλυβα στο Ηνωμένο Βασίλειο, με τον άνθρακα να αντιπροσωπεύει το 70% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Η μέθοδος EAF αντιπροσωπεύει μόνο το 2.5% της συνολικής τομεακής ζήτησης ενέργειας (Griffin and Hammond, 2019a), και το 17% της συνολικής παραγωγής (Millward-Hopkins et al., 2018), λόγω παραδοσιακά ιστορικών δυσκολιών στην εισαγωγή παλαιοσιδήρου (Langley, 1986). Αυτό τον καθιστά τον πιο ρυπογόνο βιομηχανικό υποτομέα, αντιπροσωπεύοντας το 25% των βιομηχανικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Griffin and Hammond, 2019b). Το χαμηλότερο μερίδιο της EAF αποτελεί επίσης βασικό παράγοντα για το γεγονός ότι η ένταση CO2 του Ηνωμένου Βασιλείου είναι υψηλότερη από αυτή της Γερμανίας.

Το τεχνολογικό περιβάλλον για την παραγωγή τσιμέντου είναι παρόμοιο, με δύο τύπους διεργασιών: θέρμανση πρώτων υλών (ασβεστόλιθος), και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μετατροπή ήδη παραγόμενου ή χρησιμοποιούμενου τσιμέντου. Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν μεταξύ των πρωτοπόρων στα εναλλακτικά καύσιμα: το 2014, το ενεργειακό μείγμα αυτής της διαδικασίας περιελάβανε 60% άνθρακα, 18% βιομάζα και 22% απόβλητα εξαιρουμένης της

βιομάζας (WSP et al., 2015a), αντιπροσωπεύοντας το 8% των βιομηχανικών εκπομπών του Ηνωμένου Βασιλείου (Griffin and Hammond, 2019b).

Αντίθετα, οι χημικές ουσίες χαρακτηρίζονται από εκτεταμένο αριθμό θερμικών ή χημικών διεργασιών που είναι θεμελιώδεις για την παραγωγή πλαστικών, όπως ο πολυμερισμός και η ατμοπυρόλυση. Χρησιμοποιούνται διάφορα καύσιμα, όπως νάφθα, αέριο πετρέλαιο, βουτάνιο (Griffin et al., 2018), με σημαντική συνεισφορά σε εκπομπές, αντιπροσωπεύοντας το 19% των συνολικών βιομηχανικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο Ηνωμένο Βασίλειο (Griffin and Hammond, 2019b).

Ο χάρτης πορείας του Ηνωμένου Βασιλείου για τη βιομηχανική απανθρακοποίηση έως το 2050 (WSP et al., 2015a) προσδιόρισε διατομεακές τεχνολογίες και για τους τρεις τομείς, με σημαντικότερες τις τεχνικές BAT (που μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 1GJ ανά τόνο χάλυβα (WSP et al., 2015b; Mirasgedis et al., 2008; He and Wang, 2017; Griffin and Hammond, 2019b), την αλλαγή καυσίμου (όπως το υδρογόνο ή η βιομάζα), το CCS και πρόσθετους τρόπους βελτίωσης της ενεργειακή απόδοση.

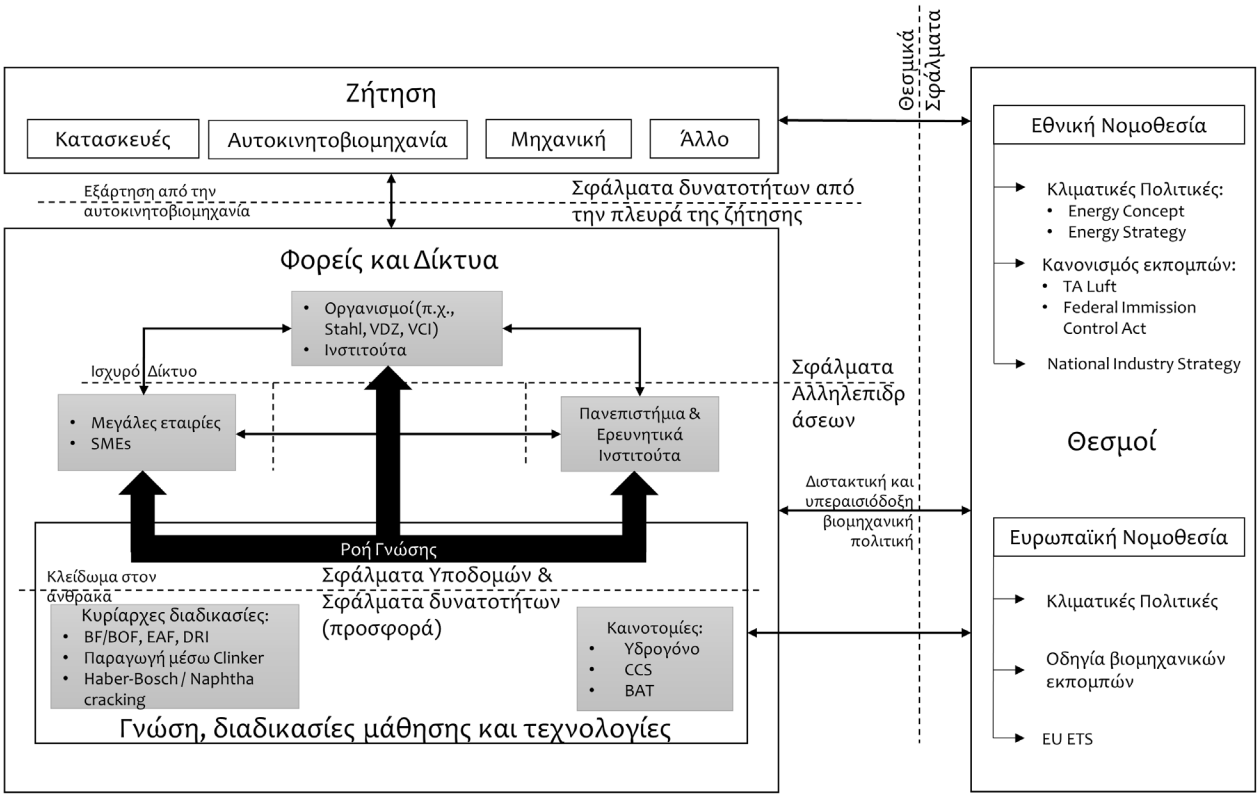
Η επίτευξη μιας βιομηχανίας μηδενικών εκπομπών συνεπάγεται επίσης την υιοθέτηση τεχνολογιών αιχμής, όπως το CCS. Για το τσιμέντο, η πύρωση ευθύνεται για το 60% όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ το υπόλοιπο 40% προκαλείται από την καύση ορυκτών καυσίμων (Cormos and Cormos, 2017). Η πρώτη εκπέμπει CO2 ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο θέρμανσης, γεγονός που δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για την εφαρμογή CCS. Ως εκ τούτου, η δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα είναι κρίσιμης σημασίας για τον στόχο του 2050 και, ως σχετικά νέα τεχνολογία, απαιτεί περισσότερη έρευνα, με τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο προκειμένου να αυξηθεί η προσβασιμότητα της βιομηχανίας στην έρευνα.

Επίσης, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει δείξει σημαντικό ενδιαφέρον στην έρευνα και την παραγωγή καθαρών μορφών υδρογόνου. Οι περισσότερες από τις μονάδες υδρογόνου χρησιμοποιούν αναμόρφωση μεθανίου με ατμό (SMR) (Stockford et al., 2015), που και αυτές συνεπάγονται την δημιουργία εκπομπών CO2 (Stenberg et al., 2018). Η χρήση υδρογόνου για τη βιομηχανία χωρίς εκπομπές απαιτεί την προώθηση μονάδων πράσινου υδρογόνου και τη χρήση CCS σε εγκαταστάσεις SMR. Ο συμπληρωματικός χαρακτήρας των δύο τεχνολογιών στο Ηνωμένο Βασίλειο παρέχει μια ευκαιρία που βασίζεται σε μια λογική αθροιστικής γνώσης, όπως

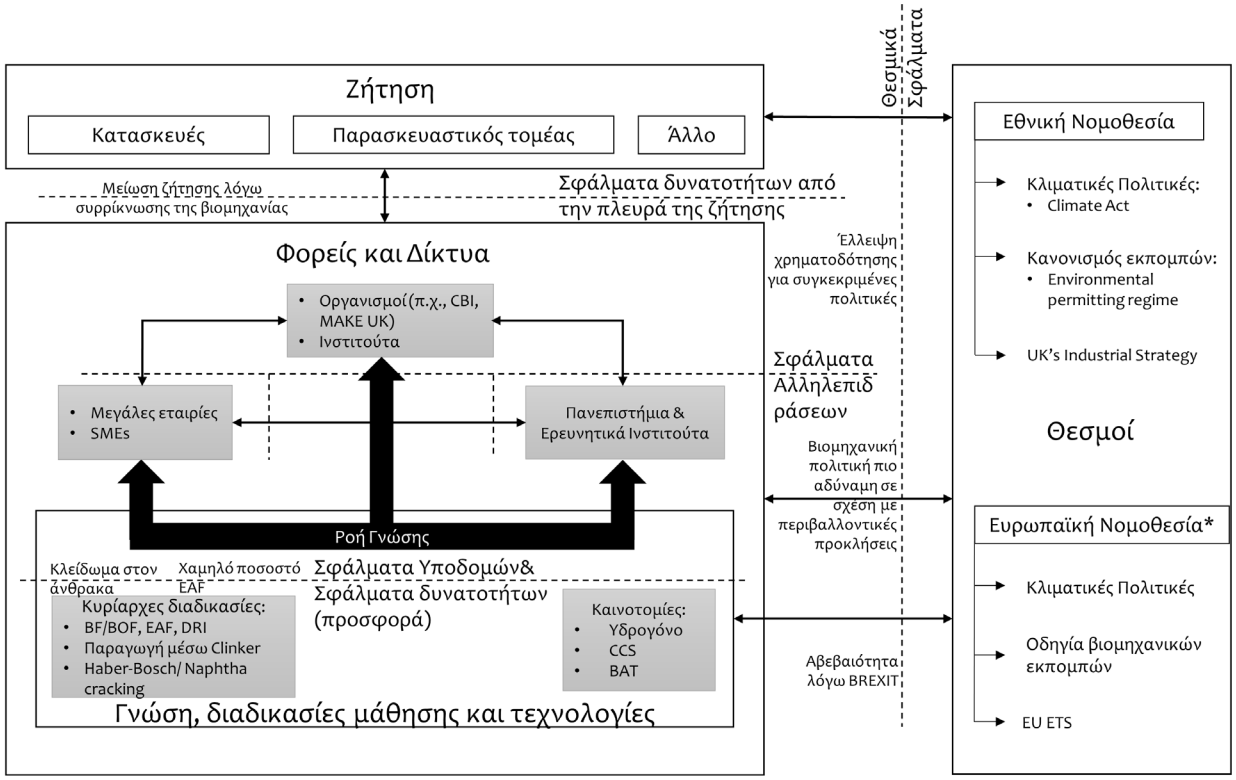
εντοπίσαμε στη Γερμανία, και που επιτρέπει την περαιτέρω διάδοση και των δύο κατά τη μετάβαση.

3.6 Συγκριτική ανάλυση των δύο χωρών μέσω του συστήματος συστημικών σφαλμάτων

Η βιομηχανία έχει εγκλωβιστεί παγκοσμίως στην εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων, λόγω της κυριαρχίας καθιερωμένων ενεργοβόρων διεργασιών (Unruh, 2002) που λειτουργούν ως φραγμοί στην εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών (Brown et al., 2008), όπως είδαμε εμπειρικά στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις. Οι φραγμοί αυτοί διαταράσσουν τη διάδοση της καινοτομίας και καθυστερούν την υιοθέτηση τεχνικών χαμηλών εκπομπών και τη μετάβαση προς τη βιωσιμότητα (Lehmann et al., 2012). Στα πλαίσια της συγκριτικής ανάλυσης, μελετάμε την ικανότητα αυτών των εμποδίων να οδηγήσουν το SIS της βομηχανίας σε συστημικά σφάλματα για τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Εικόνα 3.7 – Πίνακας 3.1).



α) Γερμανία



β) Ηνωμένο Βασίλειο

Εικόνα 3.7. Βιομηχανικό SIS για α) Γερμανία και β) Ηνωμένο Βασίλειο με τις κύριες πιθανές αιτίες συστημικών σφαλμάτων

Πίνακας 3.1. Βιομηχανικό SIS για α) Γερμανία και β) Ηνωμένο Βασίλειο με τις κύριες πιθανές αιτίες συστημικών σφαλμάτων

	Γερμανία		Ηνωμένο Βασίλειο	
	Ανθεκτικότητα στις αποτυχίες	Πιθανές αιτίες αποτυχιών	Ανθεκτικότητα στις αποτυχίες	Πιθανές αιτίες αποτυχιών
Αλληλεπιδράσεις	Δίκτυο ενεργών ενώσεων και εταιρειών Μεγάλος αριθμός ΜΜΕ, ιδίως για τον τομέα των χημικών προϊόντων	Οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις οδηγούν σε πρακτικές άσκησης πίεσης και στρατηγικές αποφάσεις που απειλούν τον ανταγωνισμό	Φημισμένα πανεπιστήμια που εκτελούν ερευνητικές δραστηριότητες Μεγάλος αριθμός ΜΜΕ, ιδίως για τον τομέα των χημικών προϊόντων	

Θεσμικά	Ενεργή περιβαλλοντική πολιτική Αισιόδοξοι στόχοι και πολιτική βούληση για την επίτευξή τους	Βιομηχανική στρατηγική διστακτική και υπεραισιόδοξη Η βιομηχανική πολιτική δεν έχει μελέτησει σε βάθος ζητήματα που αφορούν καινοτομίες υψηλού κόστους Η αυστηρή ρύθμιση προκαλεί φόβο carbon leakage	Ενεργή περιβαλλοντική πολιτική Αισιόδοξοι στόχοι και πολιτική βούληση για την επίτευξή τους	Η βιομηχανική πολιτική επικεντρώνεται περισσότερο σε οικονομικά παρά σε περιβαλλοντικά ζητήματα Περιορισμένη χρηματοδότηση για μεγάλο αριθμό πολιτικών Η αυστηρή ρύθμιση προκαλεί φόβο carbon leakage Αβεβαιότητα μετά την αποχώρηση από την ΕΕ
Δυνατότητες	Ισχυροί καταναλωτές (π.χ. αυτοκινητοβιομηχανία για τον τομέα του σιδήρου και του χάλυβα) Επαρκείς επιχειρησιακές ικανότητες Υψηλό μερίδιο EAF σε σύγκριση με το BF/BOF για την παραγωγή χάλυβα Υφιστάμενη μονάδα DRI	Πιθανή ύφεση όταν η αυτοκινητοβιομηχανία αντιμετωπίζει προβλήματα Πρόβλημα υποστήριξης καινοτόμων διαδικασιών λόγω υψηλού επενδυτικού κόστους Οι καταναλωτές διστάζουν να στραφούν σε «πράσινα» προϊόντα εξαιτίας του υψηλότερου κόστους Carbon lock-in σε συντηρητικές κυρίαρχες διεργασίες Δυσκολία συνδυασμού τεχνολογιών όπως CCS, EAF	Επαρκείς επιχειρησιακές ικανότητες	Πρόβλημα υποστήριξης καινοτόμων διαδικασιών λόγω υψηλού επενδυτικού κόστους Η συρρίκνωση της βιομηχανίας προκαλεί μείωση της ζήτησης Οι καταναλωτές διστάζουν να στραφούν σε «πράσινα» προϊόντα εξαιτίας του υψηλότερου κόστους Carbon lock-in σε συντηρητικές κυρίαρχες διεργασίες Δυσκολία συνδυασμού τεχνολογιών όπως CCS, EAF Χαμηλό μερίδιο EAF σε σύγκριση με το BF/BOF για την παραγωγή χάλυβα

Υποδομές	Ισχυρές Υποδομές		Ισχυρές Υποδομές	

Αλληλεπιδράσεις

Η δομή του δικτύου αλληλεπιδράσεων και των δύο συστημάτων βιομηχανικής καινοτομίας φαίνεται παρόμοια. Οι τρεις υποτομείς αποτελούνται από ενεργές επιχειρήσεις και στις δύο χώρες, ερευνητικά και ακαδημαϊκά ιδρύματα, κυβερνητικούς φορείς και ενώσεις επιχειρήσεων. Ωστόσο, οι εσωτερικές σχέσεις και οι ισορροπίες μεταξύ των φορέων ποικίλλουν σημαντικά. Η γερμανική βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα διαθέτει ένα μεγαλύτερο δίκτυο επιχειρήσεων και ενώσεων με μεγάλη επιρροή, με ορισμένους από τους μεγαλύτερους ενδιαφερόμενους φορείς να είναι εγκατεστημένοι ή να έχουν την έδρα τους στη Γερμανία, κάτι το οποίο έχει επιπτώσεις στην παγκόσμια αγορά σιδήρου και χάλυβα. Από την άλλη, ο υπό συρρίκνωση τομέας του Ηνωμένου Βασιλείου χαρακτηρίζεται από λιγότερα ενδιαφερόμενα μέρη. Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται και στις τσιμεντοβιομηχανίες των δύο χωρών. Αντίθετα, και οι δύο υποτομείς χημικών φιλοξενούν και επηρεάζουν κρίσιμους ενδιαφερόμενους, ειδικά αναφορικά με τα φαρμακευτικά προϊόντα.

Η επιρροή των Γερμανικών δικτύων και ενώσεων θεωρείται πιο σημαντική. Ωστόσο, αυτές οι αλληλεπιδράσεις παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ισχυρών δικτύων, όπως για παράδειγμα περιστατικά καθορισμού τιμών και άσκησης πίεσης. Τέτοια δίκτυα, που σχηματίζουν ένα συμπαγές καθεστώς, μπορούν να εμποδίσουν την καινοτομία εάν απειλούνται συμφέροντα του καθεστώτος, οδηγώντας σε σφάλματα αλληλεπίδρασης. Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει έναν πιο διαδραστικό ερευνητικό πυλώνα, με αναγνωρισμένα πανεπιστήμια που ασχολούνται με τη βιομηχανική Ε&Α, κάτι το οποίο σε συνδυασμό με τη συρρίκνωση του τομέα μειώνει τις πιθανότητες για εμφάνιση αντίστοιχου σφάλματος.

Οι δύο χώρες παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα στις αλληλεπιδράσεις των κυβερνητικών οντοτήτων με το σύστημα, βασιζόμενοι στα δύο κεντρικά υπουργεία που αναλύθηκαν στα SIS των δύο χωρών. Και τα δύο αλληλεπιδρούν παρόμοια με τη βιομηχανία, μέσω περιβαλλοντικών πολιτικών ή στρατηγικών που στοχεύουν να βοηθήσουν τις εταιρείες να πραγματοποιήσουν τεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη.

Τα βιομηχανικά δίκτυα διαφέρουν στις δύο χώρες, αλλά είναι γενικά σταθερά στις αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται: είναι καλά δομημένα και έχουν πολυάριθμους

κατεστημένους φορείς, με τη Γερμανία να επικεντρώνεται περισσότερο στις ενώσεις και το Ηνωμένο Βασίλειο στα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα, γεγονός που διευκολύνει τα τελευταία να δημιουργήσουν αποτελεσματικά δίκτυα χωρίς σημαντικούς φραγμούς. Τα σφάλματα του συστήματος που προκαλούνται από τις αλληλεπιδράσεις των φορέων δεν είναι ιδιαίτερα δυνατά σε καμία από τις δύο χώρες, αν και οι στρατηγικές πρακτικές συγκεκριμένων παικτών μπορούν να απειλήσουν τον ανταγωνισμό, εάν δεν υπάρξουν κανονισμοί. Για να ξεπεραστεί η αντίσταση στην καινοτομία και την αλλαγή, ιδίως στη Γερμανία, είναι επιτακτική ανάγκη να σχεδιαστούν συγκεκριμένες πολιτικές που θέτουν αυστηρότερους στόχους μείωσης εκπομπών ή συνοριακούς φόρους, παρέχοντας παράλληλα ειδική στήριξη για τη βιομηχανία για την υποστήριξη καινοτόμων δραστηριοτήτων.

Θεσμοί

Το Ηνωμένο Βασίλειο βιώνει μια μακροχρόνια μετάβαση από τη βιομηχανία στις υπηρεσίες, μεταβάλλοντας υφιστάμενους κοινωνικούς συσχετισμούς όπως για παράδειγμα η απασχολησιμότητα. Η αδυναμία του τομέα να συμβαδίσει με τη συνολική οικονομική ανάπτυξη οδηγεί σε μείωση των επενδύσεων (Tvaronavičius and Tvaronavičiene, 2008) και σε μειωμένες πιθανότητες ανάπτυξης της τεχνολογικής καινοτομίας. Δεδομένης της υψηλής συσχέτισης μεταξύ των επενδύσεων στην έρευνα και της παραγωγικότητας (Haskel and Wallis, 2013), η μετάβαση προς τις υπηρεσίες αποτελεί βασική πηγή συστημικών σφαλμάτων για τη βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου, εκτός εάν αντιμετωπιστεί επαρκώς θεσμικά. Οι υφιστάμενες εταιρείες σε ένα υπό συρρίκνωση περιβάλλον είναι πιο ευάλωτες στα lock-ins σε παραδοσιακές δραστηριότητες υψηλής έντασης άνθρακα για την εξασφάλιση κερδών (Buschmann and Oels, 2019). Σε αυτό συμβάλλει μια παγκόσμια κοινωνική μετάβαση προς τις υπηρεσίες από τη βιομηχανία (Bugeaud et al., 2013) που φανερώνει ότι οι προσαρμογές αυτές είναι απαραίτητες ακόμη και για την πιο σταθερή γερμανική βιομηχανία.

Η χάραξη πολιτικής ήταν επίσης ζωτικής σημασίας για την επιτυχία ή την αποτυχία των μεγάλων εταιρειών και βιομηχανιών (Parker and Cox, 2020; García-Cabrera et al., 2019). Και οι δύο χώρες έχουν επιδείξει νομοθετική αποφασιστικότητα για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, μέσα από τα εθνικά τους σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα, διαμορφώνοντας στρατηγικές απαλλαγής από τις εκπομπές συνολικά αλλά και στόχους αναφορικά με τις βιομηχανικές εκπομπές. Δεδομένου ότι η νομοθεσία της ΕΕ ήταν ενεργή και στο Ηνωμένο Βασίλειο έως το τέλος του 2020 παρά το Brexit (και την συνεπακόλουθη θεσμική αβεβαιότητα

και πιθανά σφάλματα που αυτό εισάγει), και οι δύο έχουν επίσης θεσπίσει περιβαλλοντικές νομοθεσίες, οδηγίες και ρυθμιστικούς μηχανισμούς, όπως η IED και οι BAT. Ωστόσο, συγκεκριμένες στρατηγικές που σχετίζονται με τη βιομηχανία στερούνται καινοτομίας και στις δύο χώρες, με τη στρατηγική του Ηνωμένου Βασιλείου να επικεντρώνεται περισσότερο σε οικονομικά παρά σε περιβαλλοντικά ζητήματα (Pfeifer et al., 2018), ενώ δέχεται επίσης κριτική για επιλεκτική χρηματοδότηση (Partington, 2020). Το γερμανικό σχέδιο δέχτηκε επίσης σημαντική κριτική. Η παρατηρούμενη ασυνέπεια πολιτικής αποδίδεται στην επιείκεια και ανεκτικότητα των στόχων αναφορικά με τις βιομηχανικές εκπομπές ως αποτέλεσμα του φόβου για διαρροή άνθρακα (carbon leakage) σε χώρες χωρίς συστήματα ETS ή χώρες με βαριές και ανταγωνιστικές βιομηχανίες, όπως η Κίνα (Weng and Xu, 2018). Η εναρμόνιση της βιομηχανικής πολιτικής με αυστηρότερη δράση για το κλίμα απαιτεί σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου (Crompton and Lesourd, 2008). Το αυξημένο κόστος και ο φόβος διαρροής άνθρακα αποτελούν δύο υφιστάμενους φραγμούς για αποτελεσματικές νομοθετικές πρωτοβουλίες, απειλώντας να προκαλέσουν ανεπαρκή ιεράρχηση προτεραιοτήτων για την εφαρμογή πολιτικών για την μείωση των εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών. Η βιομηχανική μετάβαση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αυστηρή δέσμευση για μια πολιτική μετριασμού των εκπομπών (Bataille et al., 2018). Η έλλειψη προθυμίας να προταθούν συνεκτικές βιομηχανικές πολιτικές μπορεί να οδηγήσει σε θεσμικά σφάλματα και των δύο συστημάτων. Αυτή η διαρθρωτική αποτυχία στα αρχικά στάδια της βιομηχανικής μετάβασης μπορεί δυνητικά να εξελιχθεί σε μετασχηματιστικό σφάλμα έλλειψης προσανατολισμού (Weber and Rohracher, 2012) καθώς μια τέτοια μετάβαση θα εκτυλισσόταν υπό το πρίσμα έλλειψης στρατηγικής καθοδήγησης.

Δυνατότητες

Τα συστημικά σφάλματα προκύπτουν επίσης από την απροθυμία ή την αδυναμία των επιχειρήσεων να προσαρμοστούν στα νέα τεχνολογικά και περιβαλλοντικά πρότυπα. Η βιομηχανική μετάβαση απαιτεί την εύρεση των απαραίτητων οικονομικών και τεχνολογικών πόρων, ευελιξία και ικανότητα μάθησης, που συνήθως σχετίζονται με την αναπτυξιακή ικανότητα μιας εταιρείας (Woolthuis et al., 2005). Οι βιομηχανίες απαιτούν υψηλό κόστος κεφαλαίου για κάθε είδους επένδυση σχετικά με την τροποποίηση του εξοπλισμού (Crompton and Lesourd, 20008) με αντίστοιχες καθυστερήσεις πριν από την απόσβεση του επενδυμένου κεφαλαίου (Worrell and Biermans, 2005). Η διάδοση τεχνολογιών όπως το υδρογόνο, που αγωνίζονται να είναι οικονομικά ανταγωνιστικές (Dawood et al., 2020), επηρεάζονται

περαιτέρω από τέτοιους κύκλους. Αυτό είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για κάθε κλάδο, ειδικά σε υπό συρρίκνωση αγορές, όπως η βιομηχανία στο Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο είναι πιο ευάλωτο σε σφάλματα δυνατοτήτων.

Ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο για την μείωση των εκπομπών της βιομηχανίας έγκειται στο γεγονός ότι οι ενεργοβόρες βιομηχανίες προμηθεύουν με τη σειρά τους άλλες βιομηχανίες που είναι γενικά απρόθυμες να χρησιμοποιήσουν υλικά χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών λόγω χαμηλότερων βραχυπρόθεσμων επιστροφών κεφαλαίου (Janipour et al., 2020). Αυτή η απροθυμία με τη σειρά της δεν παρακινεί τους βιομηχανικούς υποτομείς να μεταβούν σε πρακτικές και προϊόντα χαμηλότερων εκπομπών. Η έλλειψη αφοσίωσης ενισχύεται από άλλες μεγάλες εξαγωγικές χώρες, όπως η Κίνα, που παρέχουν φθηνότερα προϊόντα εξαιτίας λιγότερων δεσμεύσεων για τη βιομηχανική ενεργειακή απόδοση (Mao and He, 2018). Κατά συνέπεια, τόσο το βρετανικό όσο και το γερμανικό βιομηχανικό σύστημα ενδέχεται να διστάσουν να προσαρμοστούν στις πράσινες τεχνολογίες, για να ανταγωνιστούν τους μη ευρωπαίους εξαγωγείς που διαθέτουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Η επέκταση της Κίνας αποτελεί σημαντική πρόκληση για την οικονομία του Ηνωμένου Βασιλείου, λόγω της μακράς περιόδου στροφής της προς τις υπηρεσίες, η οποία συνοδεύεται από συνεχή βιομηχανική ύφεση, και σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις του Brexit και τις επακόλουθες προσπάθειες άλλων ευρωπαϊκών χωρών να αυξήσουν το μερίδιο των υπηρεσιών τους (Latorre et al., 2020; Jafari and Britz, 2020). Η εν λόγω πρόκληση για τη βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου ενισχύεται από την προθυμία των Κινέζων επενδυτών να διεισδύσουν στη βρετανική αγορά, επενδύοντας σε υπάρχουσες βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Davies, 2020), με αυξανόμενη αβεβαιότητα σχετικά με το μέλλον των επιχειρήσεων σιδήρου και χάλυβα του Ηνωμένου Βασιλείου. Ως εκ τούτου, η πολιτική του Ηνωμένου Βασιλείου θα πρέπει να επικεντρωθεί στην παροχή κινήτρων για νέες βιομηχανίες και παράγοντες στις πράσινες αγορές βελτιώνοντας τις δυνατότητες τους, όπως πχ. συνδέοντας παράλληλα την βιομηχανία με την εγχώρια παραγωγή τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών, όπως οι ανεμογεννήτριες (κάτι το οποίο ισχύει και για τη Γερμανία). Παρόλο που ορισμένες από τις προκλήσεις είναι κοινές για τη Γερμανία, ο τομέας της τελευταίας έχει επιδείξει ανθεκτικότητα, εξαιτίας της σταθερότητας που παρέχουν οι τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και των κατασκευών (ισχυρές δυνατότητες από την πλευρά της ζήτησης), ιδίως για τον σίδηρο και τον χάλυβα. Η εξάρτηση από συγκεκριμένους ενδιάμεσους τομείς (π.χ. αυτοκινητοβιομηχανία) παρόλα αυτά σημαίνει ότι, εάν οι τομείς αυτοί

αντιμετωπίσουν μείωση της παραγωγής, η βιομηχανία θα αντιμετωπίσει επίσης περικοπές πωλήσεων, καθιστώντας την ευάλωτη.

Όσον αφορά τις ικανότητες από την πλευρά των φορέων (ιδίως των επιχειρήσεων), η σύγκριση αναφορικά με τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες επικεντρώνεται στη βάση γνώσεων που χρησιμοποιείται από κάθε υποτομέα στις δύο χώρες. Η BF κυριαρχεί στην παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, ενώ η αποδοτικότερη EAF είναι πιο διαδεδομένη στη Γερμανία (30%) από ό,τι στο Ηνωμένο Βασίλειο (17%) όπως είδαμε στα δύο SIS. Ως εκ τούτου, η γερμανική βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα διαθέτει ήδη ισχυρότερη βάση σε τεχνολογίες χαμηλότερων εκπομπών, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ένταση εκπομπών. Το τσιμέντο χαρακτηρίζεται από μία μόνο τεχνολογία που χρησιμοποιείται και στις δύο χώρες. Ωστόσο, γίνεται διάκριση με βάση το καύσιμο που καταναλώνεται. Η βιομάζα και τα απόβλητα χρησιμοποιούνται στο 40% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στο Ηνωμένο Βασίλειο, ποσοστό χαμηλότερο από το 60% της Γερμανίας, διαφορά που αποδίδεται εν μέρει στις τεχνικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις για διαφορετικά υλικά (Usón et al., 2013). Ωστόσο, η ένταση CO2 τσιμέντου του Ηνωμένου Βασιλείου είναι χαμηλότερη από αυτή της Γερμανίας λόγω σημαντικού μεριδίου φυσικού αερίου στην παραγωγή κλίνκερ.

Εκτός από τις υπάρχουσες τεχνολογίες, η διάδοση της γνώσης τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών αλλά ακόμα λιγότερο ανταγωνιστικών στη βιομηχανία αντιμετωπίζει επίσης προκλήσεις. Οι εξεταζόμενες τεχνολογίες περιλαμβάνουν τη χρήση υδρογόνου χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών σε διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες και το CCS, με τον προϋπολογισμό του Ηνωμένου Βασιλείου για το 2020 να υπόσχεται τη δημιουργία ενός ταμείου για τη χρηματοδότηση δύο εγκαταστάσεων CCS. Δεδομένου ότι καμία από τις χώρες δεν έχει ακόμη εφαρμόσει τέτοιες τεχνολογίες, η εξέταση πιθανών σφαλμάτων σε επίπεδο καινοτομίας είναι ασαφής, αν και το υψηλό επενδυτικό κόστος απειλεί την ικανότητα οικονομικής στήριξης τους. Το Ηνωμένο Βασίλειο υπήρξε σημαντική κινητήρια δύναμη της χρήσης υδρογόνου και της έρευνας, ενώ στη Γερμανία πολλές ενεργοβόρες βιομηχανικές επιχειρήσεις έχουν δείξει ενδιαφέρον για μια στρατηγική υδρογόνου. Η ασυμβατότητα μεταξύ τεχνικών ηλεκτροδότησης όπως η EAF και το CCS θα μπορούσε να λειτουργήσει ως εμπόδιο στην επέκταση της εφαρμογής τους, με το CCS να βρίσκεται σε πρώιμα στάδια και στις δύο χώρες. Οι λιγότερο επεμβατικές τεχνολογίες που μειώνουν τις εκπομπές, όπως οι BAT, μπορούν να εφαρμοστούν περαιτέρω και στις δύο χώρες (He and Wang, 2017), αλλά περιλαμβάνουν περιορισμούς στην επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων.

Υποδομές

Η τελευταία συνιστώσα του πλαισίου για συστημικών σφαλμάτων αφορά τις διαθέσιμες υποδομές, οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Johnson et al., 1998): (α) εξωτερικούς παράγοντες και γενικές υποδομές, όπως δίκτυα ενέργειας και επικοινωνιών και (β) εσωτερικές τεχνολογικές υποδομές, όπως η ύπαρξη εγκαταστάσεων δοκιμών. Και οι δύο χώρες θεωρούνται από τις πιο οικονομικά και τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες παγκοσμίως. Ως εκ τούτου, και οι δύο χώρες αντιμετωπίζουν ανθεκτικότητα έναντι σφαλμάτων στις υποδομές.

3.7 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο να εξετάσει τους βιομηχανικούς τομείς της Γερμανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου από την σκοπιά του συστήματος καινοτομίας, να κατανοήσει τους κινητήριους μοχλούς και τους φραγμούς εισόδου νέων, βιώσιμων τεχνολογιών και να τις μεταφράσει σε επιπτώσεις πολιτικής, ειδικότερα υπό το πρίσμα κρίσεων και πιέσεων από το ευρύτερο περιβάλλον όπως η αποβιομηχανοποίηση. Ενώ οι συνολικές εκπομπές CO2 μειώνονται συνεχώς στο Ηνωμένο Βασίλειο, η μείωση αυτή καθυστερεί στη Γερμανία από το 2000. Η ανάλυση επικεντρώνεται στους ενεργοβόρους υποτομείς του σιδήρου και του χάλυβα, του τσιμέντου και των χημικών προϊόντων, που αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος των βιομηχανικών εκπομπών και στις δύο χώρες. Οι πρόσφατες μειώσεις εκπομπών φαίνεται να οφείλονται κυρίως στη συρρίκνωση της δραστηριότητας, ενώ η περιορισμένη μείωση της έντασης άνθρακα συνεπάγεται χαμηλή διάδοση των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών. Με την εφαρμογή του πλαισίου SIS, εξετάζεται ο ρόλος των φορέων και δικτύων, των θεσμών, της ζήτησης και της γνώσης και για τις δύο χώρες. Ο περαιτέρω συνδυασμός των δομικών στοιχείων του SIS με το πλαίσιο συστημικών σφαλμάτων συμβάλλει στον εντοπισμό υφιστάμενων ή δυνητικών κινδύνων για τη διάδοση καινοτόμων τεχνολογιών που σχετίζονται με την απανθρακοποίηση του τομέα.

Η βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα υπήρξε βασική κινητήρια δύναμη για την οικονομία της Γερμανίας, παρέχοντας τα απαραίτητα υλικά για την εγχώρια αυτοκινητοβιομηχανία, επηρεάζοντας πολλαπλές αλυσίδες αξίας. Αυτά τα επιχειρησιακά δίκτυα μεταξύ εταιρειών σε κάθε υποτομέα και των αντίστοιχων καταναλωτών τους αποτελούν ισχυρή επιρροή της ζήτησης στο γερμανικό σύστημα καινοτομίας. Παρόλο που υπάρχουν διαφορετικά συμφέροντα εντός του συστήματος, οι μεγάλες εταιρείες, σε συνδυασμό με ισχυρές ενώσεις με σημαντική

επίδραση στην παγκόσμια βιομηχανία, οδηγούν σε σταθερή οικονομική δραστηριότητα της γερμανικής βιομηχανίας, αν και ενίοτε συνοδεύονται από περιστασιακές προκλήσεις, όπως η ικανότητα τους να καθυστερούν περιβαλλοντικές ρυθμίσεις κάτι που επηρεάζει τη μετάβαση σε πιο πράσινες τεχνολογίες. Ωστόσο, αυτή η παρατηρούμενη ισορροπία δεν αντικατοπτρίζεται εξίσου στη βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου: η συνεχιζόμενη μετάβασή της από μια βιομηχανική οικονομία σε μια οικονομία βασισμένη στις υπηρεσίες θέτει σημαντικές απειλές για το σύστημα, οδηγώντας σταδιακά σε συρρίκνωση της οικονομικής δραστηριότητας, αντιμετωπίζοντας επιπλέον αβεβαιότητες που σχετίζονται με το Brexit. Ωστόσο, η μερική αποβιομηχανοποίηση της οικονομίας έχει αποδυναμώσει το καθεστώς, σε αντίθεση με τη Γερμανία, η οποία δεν έχει ακόμη οδηγηθεί σε ουσιαστικές αλλαγές στην ένταση άνθρακα των υποτομέων, δημιουργώντας κατά κάποιο τρόπο ευκαιρία για νέες επιχειρήσεις με καινοτόμες βιώσιμες διαδικασίες να αναδυθούν και να επωφεληθούν από την ύφεση (Pisano, 2006).

Αυτή η κρίσιμη διαφορά επέτρεψε την παροχή πολύτιμων πληροφοριών μέσω μιας συγκριτικής ανάλυσης των δύο χωρών για τις υπάρχουσες προκλήσεις όσον αφορά τη δημιουργία και την αποτελεσματική διάδοση της καινοτομίας, αλλά και για τις πιθανές προκλήσεις στο Ηνωμένο Βασίλειο που το σταθερό γερμανικό σύστημα δεν βιώνει ακόμη. Ο ανταγωνιστικός ρόλος της Κίνας ως σημαντικού φραγμού τίθεται συχνά, καθώς διαφορετικοί εγχώριοι μηχανισμοί και συνθήκες διατηρούν τις τιμές σε χαμηλά επίπεδα και απειλούν τα εξεταζόμενα βιομηχανικά συστήματα. Αυτό το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, που ισχύει και για άλλες αναδυόμενες οικονομίες, επηρεάζει τους κατασκευαστές του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γερμανίας, αυξάνοντας τις εισαγωγές, μειώνοντας παράλληλα τη ζήτηση για εγχώρια προσφορά. Αυτό το φαινόμενο είναι ισχυρότερο στο Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς η αυτοκινητοβιομηχανία βοηθά τη γερμανική βιομηχανία να αντέξει την πίεση και να διατηρήσει τη δύναμη του τομέα, αλλά ο περαιτέρω διεθνής ανταγωνισμός μπορεί να λειτουργήσει ως διασπαστική δύναμη ενάντια σε αυτή τη σταθερότητα. Η αντιμετώπιση του ζητήματος τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει οδηγήσει σε θεσμικές ασυνέπειες, δεδομένου ότι οι αυστηροί στόχοι εκπομπών έπρεπε να χαλαρώσουν μέσω δωρεάν δικαιωμάτων για τους βιομηχανικούς τομείς για την τόνωση της ανταγωνιστικότητας, λειτουργώντας ως σημείο συμφόρησης για καινοτόμες τεχνολογίες, επιτρέποντας στο καθεστώς να διατηρήσει τις επί του παρόντος ενεργοβόρες διαδικασίες. Αυτό δικαιολογεί τη μικρή πρόοδο όσον αφορά τη μείωση της έντασης CO2 στους περισσότερους ενεργοβόρους τομείς, γεγονός που δείχνει ότι η μετάβαση βρίσκεται ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Όπως προκύπτει από την ανάλυσή μας, η μετάβαση των εξεταζόμενων κλάδων δεν μπορεί να καθοδηγείται αυτόματα από τους φορείς, οι οποίοι μάλιστα εν μέσω κρίσεων και πιέσεων πιέζουν και αυτοί με τη σειρά τους για πιο επιεικείς στόχους, καθώς δεν υπάρχει καθολική δυνατότητα παροχής τεράστιων οικονομικών κινήτρων εξαιτίας των υψηλών επενδυτικών απαιτήσεων στον τομέα. Οι μελλοντικές πολιτικές πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτόν τον δισταγμό εφαρμόζοντας αυστηρότερους στόχους για τον βιομηχανικό τομέα. Ένας αυστηρότερος κανονισμός για το EU-ETS μπορεί να παράσχει αυτό το κίνητρο για την καθοδήγηση της μετάβασης, δεδομένου ότι οι αυστηρότερες πολιτικές συνήθως συσχετίζονται με την τόνωση της καινοτομίας (Borghesi et al., 2015). Ταυτόχρονα, ο φόβος διαρροής άνθρακα μπορεί να περιοριστεί μέσω δράσεων πολιτικής, όπως ο μηχανισμός συνοριακών προσαρμογών άνθρακα για την τόνωση της ανταγωνιστικότητας συγκεκριμένων τομέων (Kuik et al., 2010), ή των ευρωπαϊκών χωρών που πλήττονται περισσότερο από μετεγκαταστάσεις παραγωγής (Vögele et al., 2020). Περιστασιακές ευκαιρίες για αναδυόμενες πράσινες τεχνολογίες, όπως η χρήση μπλε ή πράσινου υδρογόνου και CCS μπορούν να αξιοποιηθούν, δεδομένου ότι ήδη λαμβάνουν σημαντικό ενδιαφέρον από τον ιδιωτικό τομέα. Οι βιομηχανικές πολιτικές πρέπει να διαθέσουν σαφή στρατηγική για τη βιώσιμη μετάβαση, παρέχοντας τρόπους χρηματοδότησης των εν λόγω τεχνολογιών για την αντιμετώπιση του υψηλού επενδυτικού κόστους που απαιτείται. Είναι επίσης απαραίτητο αυτές οι δαπάνες μετάβασης να κατανεμηθούν σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας και να κατανεμηθούν ομοιόμορφα μεταξύ του κράτους και των φορέων, οι οποίοι μέχρι τώρα έδειχναν απροθυμία.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 3

Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2015). Decarbonizing industry in the EU: climate, trade and industrial policy strategies. In Decarbonization in the European Union (pp. 92-114). Palgrave Macmillan, London.

Åhman, M., Nikoleris, A., & Nilsson, L. J. (2012). Decarbonising industry in Sweden. (IMES/EES report no 77; Vol. 77). Lund University.

Åhman, M., Nilsson, L. J., & Johansson, B. (2017). Global climate policy and deep decarbonisation of energy-intensive industries. Climate Policy, 17(5), 634-649.

Albu, M., & Griffith, A. (2005). Mapping the market: A framework for rural enterprise development policy and practice. Rugby, UK: Practical Action (formerly ITDG).

Alkousaa, R., Martin, M. (2019). German chemical industry body slashes 2019 revenue forecast. Reuters. Retrieved from: https://www.reuters.com/article/germany-economy-chemicals/german-chemical-industry-body-slashes-2019-revenue-forecast-idUSS8N23X00I

Allen, J. (1988). Towards a post-industrial economy. The economy in question, 91-135.

Amelang, S. (2020). German industry needs policy trigger for deep emission cuts. Retrieved from: https://www.cleanenergywire.org/news/german-industry-needs-policy-trigger-deep-emission-cuts

American Institute for Contemporary German Studies. (2019). The German Industry Strategy 2030: Inconsistent and Dangerous!. Retrieved from: https://www.aicgs.org/2019/05/the-german-industry-strategy-2030-inconsistent-and-dangerous/

Andersen, P. D., Andersen, A. D., Jensen, P. A., & Rasmussen, B. (2014). Sectoral innovation system foresight in practice: Nordic facilities management foresight. Futures, 61, 33-44.

Andersen, A. D., & Markard, J. (2020). Multi-technology interaction in socio-technical transitions: How recent dynamics in HVDC technology can inform transition theories. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119802.

Arens, M., Worrell, E., & Schleich, J. (2012). Energy intensity development of the German iron and steel industry between 1991 and 2007. Energy, 45(1), 786-797.

Arens, M., Worrell, E., Eichhammer, W., Hasanbeigi, A., & Zhang, Q. (2017). Pathways to a low-carbon iron and steel industry in the medium-term–the case of Germany. Journal of cleaner production, 163, 84-98.

Arnold, M. (2019). German industry hit by biggest downturn since 2009. Financial Times. Retrieved from: https://www.ft.com/content/a1a14220-1801-11ea-9ee4-11f260415385

Asheim, B. T., & Isaksen, A. (1997). Location, agglomeration and innovation: Towards regional innovation systems in Norway?. European planning studies, 5(3), 299-330.

Asheim, B. T., Smith, H. L., & Oughton, C. (2011). Regional innovation systems: theory, empirics and policy. Regional studies, 45(7), 875-891.

Avami, A., & Sattari, S. (2007). Energy conservation opportunities: cement industry in Iran. International journal of Energy, 1(3), 65-71.

Balaguer, A., & Marinova, D. (2006). Sectoral Transformation in the Photovoltaics Industry in Australia, Germany and Japan: Contrasting the Co-evolution of Actors, Knowledge, Institutions and Markets. Prometheus, 24(3), 323-339.

Bataille, C., Åhman, M., Neuhoff, K., Nilsson, L. J., Fischedick, M., Lechtenböhmer, S., ... & Sartor, O. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. Journal of Cleaner Production, 187, 960-973.

Bento, N., & Fontes, M. (2015). Spatial diffusion and the formation of a technological innovation system in the receiving country: The case of wind energy in Portugal. Environmental Innovation and Societal Transitions, 15, 158-179.

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. Research policy, 37(3), 407-429.

Binz, C., & Truffer, B. (2017). Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. Research Policy, 46(7), 1284-1298.

Borghesi, S., Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2015). Linking emission trading to environmental innovation: evidence from the Italian manufacturing industry. Research Policy, 44(3), 669-683.

Bosman, R., Loorbach, D., Rotmans, J., & Van Raak, R. (2018). Carbon lock-out: leading the fossil port of Rotterdam into transition. Sustainability, 10(7), 2558.

Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations, 130-156.

British Geological Survey (2014). Cement. Mineral Planning Factsheet.

Brown, M. A. (2001). Market failures and barriers as a basis for clean energy policies. Energy policy, 29(14), 1197-1207.

Brown, M. A., Chandler, J., Lapsa, M. V., & Sovacool, B. K. (2008). Carbon lock-in: barriers to deploying climate change mitigation technologies (No. ORNL/TM-2007/124). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States); Georgia Inst. of Technology, Atlanta, GA (United States).

Brunke, J. C., & Blesl, M. (2014). Energy conservation measures for the German cement industry and their ability to compensate for rising energy-related production costs. Journal of Cleaner Production, 82, 94-111.

Bugeaud, F., Pietyra, P., & Liger, V. (2013). From Service Design to Innovation through Services: Emergence of a Methodological and Systemic Framework. In Working Conference on Virtual Enterprises (pp. 431-438). Springer, Berlin, Heidelberg.

Bühler, F., Guminski, A., Gruber, A., Nguyen, T. V., von Roon, S., & Elmegaard, B. (2018). Evaluation of energy saving potentials, costs and uncertainties in the chemical industry in Germany. Applied Energy, 228, 2037-2049.

Burgess, T., Hwarng, B., Shaw, N., & De Mattos, C. (2002). Enhancing Value Stream Agility:: The UK Speciality Chemical Industry. European Management Journal, 20(2), 199-212.

Buschmann, P., & Oels, A. (2019). The overlooked role of discourse in breaking carbon lock-in: The case of the German energy transition. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 10(3), e574.

Callon, M. (1987). Society in the making: the study of technology as a tool for sociological analysis. The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology, 83-103.

Canzler, W. (2020). Market and Technology Trends for the Automotive Future in Germany. In The Ecological Modernization Capacity of Japan and Germany (pp. 155-169). Springer VS, Wiesbaden.

Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1997). In search of useful public policies—key lessons and issues for policy makers. In Technological systems and industrial dynamics (pp. 299-315). Springer, Boston, MA.

Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. Journal of evolutionary economics, 1(2), 93-118.

Centre for Global Higher Education (2017). UK universities interacting with industry: patterns of research collaboration and inter-sectoral mobility of academic researchers. [online] Retrieved from: https://www.researchcghe.org/perch/resources/publications/wp14.pdf

Chung, C. C. (2012). National, sectoral and technological innovation systems: The case of Taiwanese pharmaceutical biotechnology and agricultural biotechnology innovation systems (1945–2000). Science and public policy, 39(2), 271-281.

Chunhavuthiyanon, M., & Intarakumnerd, P. (2014). The role of intermediaries in sectoral innovation system: The case of Thailand's food industry. International Journal of Technology Management & Sustainable Development, 13(1), 15-36.

Coenen, L., & López, F. J. D. (2010). Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. Journal of cleaner production, 18(12), 1149-1160.

Conti, M. E., Ciasullo, R., Tudino, M. B., & Matta, E. J. (2015). The industrial emissions trend and the problem of the implementation of the Industrial Emissions Directive (IED). Air Quality, Atmosphere & Health, 8(2), 151-161.

Cooke, P. (2001). Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. Industrial and corporate change, 10(4), 945-974.

Cooke, P., Uranga, M. G., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. Research policy, 26(4-5), 475-491.

Cormos, A. and Cormos, C. (2017). Reducing the carbon footprint of cement industry by post-combustion CO2 capture: Techno-economic and environmental assessment of a CCS project in Romania. Chemical Engineering Research and Design, 123, pp.230-239.

Crompton, P., & Lesourd, J. (2008). Economies of scale in global iron-making. Resources Policy, 33(2), 74-82.

Cunningham, I., & James, P. (2009). The outsourcing of social care in Britain: what does it mean for voluntary sector workers?. Work, employment and society, 23(2), 363-375.

Davies, R. (2020). British Steel rescue: UK extends funding ahead of decision on Jingye. The Guradian. Retrieved from: https://www.theguardian.com/business/2020/feb/28/british-steel-rescue-uk-extends-funding-ahead-of-decision-on-jingye.

Dawood, F., Anda, M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. International Journal of Hydrogen Energy.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2019). International Comparison of the UK Research Base, 2019. Retrieved from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/815400/International_comparison_of_the_UK_research_base__2019._Accompanying_note.pdf

Dewald, U., & Achternbosch, M. (2016). Why more sustainable cements failed so far? Disruptive innovations and their barriers in a basic industry. Environmental Innovation and Societal Transitions, 19, 15-30.

Dobson, P. and Waterson, M. (2007). The competition effects of industry-wide vertical price fixing in bilateral oligopoly. International Journal of Industrial Organization, 25(5), pp.935-962.

Drotloff, H. (2014). Reduction of Emissions by Chemical Industry from the German Emission Control Act to the Industrial Emission Directive (IED). Procedia Technology, 12, 637-642.

Dütschke, E. (2011). What drives local public acceptance–comparing two cases from Germany. Energy Procedia, 4, 6234-6240.

Dütschke, E., Wohlfarth, K., Höller, S., Viebahn, P., Schumann, D., & Pietzner, K. (2016). Differences in the public perception of CCS in Germany depending on CO2 source, transport option and storage location. International Journal of Greenhouse Gas Control, 53, 149-159.

Edquist, C. (2005). Systems of Innovation: Perspectives and Challenges In Fagerberg, J., Mowery, D. C., & Nelson, R. R. (Eds.), The Oxford handbook of innovation (181-207).

Edquist, C., Hommen, L., & McKelvey, M. D. (2001). Innovation and employment: Process versus product innovation. Edward Elgar Publishing.

Erisman, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., & Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. Nature Geoscience, 1(10), 636-639.

Esparcia, J. (2014). Innovation and networks in rural areas. An analysis from European innovative projects. Journal of rural studies, 34, 1-14.

European Commission. (2020a). Free allowances. Retrieved from: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances_en

European Commission. (2020b). The Industrial Emissions Directive - Environment - European Commission. [online] Retrieved from: https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm

Eurostat. (2019). Production and international trade in chemicals. Retrieved from: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Production_and_international_trade_in_chemicals#Growing_trade_in_chemicals

Faber, A., & Hoppe, T. (2013). Co-constructing a sustainable built environment in the Netherlands—Dynamics and opportunities in an environmental sectoral innovation system. Energy policy, 52, 628-638.

Fagerberg, J., Mowery, D. C., & Nelson, R. R. (Eds.). (2005). The Oxford handbook of innovation. Oxford university press.

Falcke, H., Holbrook, S., Clenahan, I., Carretero, A. L., Sanalan, T., Brinkmann, T., ... & Sancho, L. D. (2017). Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of large volume organic chemicals. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Federal Statistical Office of Germany. (2019). Production in October 2019: -1.7% seasonally adjusted on the previous month. Retrieved from: https://www.destatis.de/EN/Press/2019/12/PE19_463_421.html

Fernihough, A., & O'Rourke, K. H. (2014). Coal and the European industrial revolution (No. w19802). National Bureau of Economic Research.

Fischedick, M., Marzinkowski, J., Winzer, P., & Weigel, M. (2014). Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies. Journal of Cleaner Production, 84, 563-580.

Flichy, P. (2008). Understanding technological innovation: a socio-technical approach. Edward Elgar Publishing.

Forsberg, C. W. (2007). Future hydrogen markets for large-scale hydrogen production systems. International Journal of Hydrogen Energy, 32(4), 431-439.

Foxon, T. J., Gross, R., Chase, A., Howes, J., Arnall, A., & Anderson, D. (2005). UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. Energy policy, 33(16), 2123-2137.

Foxon, T., & Pearson, P. (2008). Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. Journal of cleaner production, 16(1), S148-S161.

Freeman, C. (1987). Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan. London: Pinter Publishers.

Frenz, M., & Oughton, C. (2005). Innovation in the UK regions and devolved administrations: A review of the literatura; Final report for the Department of Trade and Industry and the Office of the Deputy Prime Minister, London.

García-Cabrera, A., Durán-Herrera, J., & Suárez-Ortega, S. (2019). Multinationals' political activity for institutional change: Evidence from Spain during the international crisis of 2008. European Management Journal, 37(5), 541-551.

Gassmann, O., Zeschky, M., Wolff, T., & Stahl, M. (2010). Crossing the industry-line: breakthrough innovation through cross-industry alliances with 'non-suppliers'. Long range planning, 43(5-6), 639-654.

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research policy, 31(8-9), 1257-1274.

Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy, 33(6-7), 897-920.

Gerres, T., Chaves Ávila, J., Llamas, P., & San Román, T. (2019). A review of cross-sector decarbonisation potentials in the European energy intensive industry. Journal Of Cleaner Production, 210, 585-601.

Ghanta, M., Fahey, D., & Subramaniam, B. (2014). Environmental impacts of ethylene production from diverse feedstocks and energy sources. Applied Petrochemical Research, 4(2), 167-179.

Giugni, M. (2004). Social protest and policy change: Ecology, antinuclear, and peace movements in comparative perspective. Rowman & Littlefield.

Global Wind Energy Council. (2019). Global Wind Report 2018. Retrieved from: https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf

Graichen, V., Schumacher, K., Matthes, F. C., Mohr, L., Duscha, V., Schleich, J., & Diekmann, J. (2008). Impacts of the EU Emissions Trading Scheme on the industrial competitiveness in Germany. Berlin: German Federal Environment Agency.

Griffin, P. and Hammond, G. (2019a). Analysis of the potential for energy demand and carbon emissions reduction in the iron and steel sector. Energy Procedia, 158, pp.3915-3922.

Griffin, P. and Hammond, G. (2019b). Industrial energy use and carbon emissions reduction in the iron and steel sector: A UK perspective. Applied Energy, 249, pp.109-125.

Griffin, P. W., Hammond, G. P., & Norman, J. B. (2018). Industrial energy use and carbon emissions reduction in the chemicals sector: a UK perspective. Applied Energy, 227, 587-602.

Gutberlet, T. (2013). Mechanization, Transportation, and the Location of Industry in Germany 1846 to 1907.

Hartung, J. (1986). Rules and regulations related to preventing pollution from animal manure in the Federal Republic of Germany. Agriculture, ecosystems & environment, 16(3-4), 273-279.

Hasanbeigi, A., Arens, M., & Price, L. (2014). Alternative emerging ironmaking technologies for energy-efficiency and carbon dioxide emissions reduction: a technical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33, 645-658.

Haskel, J., & Wallis, G. (2013). Public support for innovation, intangible investment and productivity growth in the UK market sector. Economics letters, 119(2), 195-198.

Hawkesford, M. J. (2014). Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. Journal of cereal science, 59(3), 276-283.

He, K. and Wang, L. (2017). A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, pp.1022-1039.

Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. Technological forecasting and social change, 74(4), 413-432.

Her Majesty's Treasury. (2020). Budget 2020. Retrieved from: https://www.gov.uk/government/publications/budget-2020-documents/budget-2020#fn:62

Hummen, T., & Ostertag, K. (2015). Consumption trends of steel and aluminium in the context of decarbonization (No. S3/2015). Working Paper Sustainability and Innovation.

IEA. (2013). Electricity Feed-In Law of 1991 ("Stromeinspeisungsgesetz"). Retrieved from: https://www.iea.org/policies/3477-electricity-feed-in-law-of-1991-stromeinspeisungsgesetz

IEA. (2019). Data and statistics. Retrieved from: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Balances&year=2017

International Trade Administration. (2017). Steel Exports Report: Germany. Retrieved from: https://legacy.trade.gov/steel/countries/pdfs/2017/q2/exports-germany.pdf

IPCC. (2014). Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter10.pdf

Jack, S. L. (2005). The role, use and activation of strong and weak network ties: A qualitative analysis. Journal of management studies, 42(6), 1233-1259.

Jafari, Y., & Britz, W. (2020). Brexit: an economy-wide impact assessment on trade, immigration, and foreign direct investment. Empirica, 47(1), 17-52.

Janipour, Z., de Nooij, R., Scholten, P., Huijbregts, M. A., & de Coninck, H. (2020). What are sources of carbon lock-in in energy-intensive industry? A case study into Dutch chemicals production. Energy Research & Social Science, 60, 101320.

Johnson, B. H., Charles, E., Hommen, L., Lemola, T., Malerba, F., Reiss, T., & Smith, K. (1998). The ISE Policy Statement: The Innovation Policy Implications of the ISE Research Project.

Kädtler, J., & Sperling, H. J. (2002). After globalisation and financialisation: logics of bargaining in the German automotive industry. Competition & Change, 6(2), 149-168.

Kahl, R., & Desel, H. (2003). Germany: toxicology information on the World Wide Web. Toxicology, 190(1-2), 23-33.

Karakaya, E., Nuur, C., & Assbring, L. (2018). Potential transitions in the iron and steel industry in Sweden: Towards a hydrogen-based future?. Journal of Cleaner Production, 195, 651-663.

Kaya, Y., & Yokobori, K. (Eds.). (1997). Environment, energy, and economy: strategies for sustainability. Tokyo: United Nations University Press.

Keller, F., Lee, R. P., & Meyer, B. (2020). Life cycle assessment of global warming potential, resource depletion and acidification potential of fossil, renewable and secondary feedstock for olefin production in Germany. Journal of Cleaner Production, 250, 119484.

Khurana, S., Banerjee, R., & Gaitonde, U. (2002). Energy balance and cogeneration for a cement plant. Applied thermal engineering, 22(5), 485-494.

Kiel Institute of World Economics. (2019). Zeit für eine neue Industriepolitik? (Report No. 122). Retrieved from: https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Policy_Brief/Kiel_Policy_Brief_122.pdf

Kim, J. W., Lee, J. Y., Kim, J. Y., & Lee, H. K. (2006). Sources of productive efficiency: International comparison of iron and steel firms. Resources Policy, 31(4), 239-246.

Kim, Y. Z., & Lee, K. (2008). Sectoral innovation system and a technological catch-up: the case of the capital goods industry in Korea. Global economic review, 37(2), 135-155.

Klepper, S., & Malerba, F. (2010). Demand, innovation and industrial dynamics: an introduction. Industrial and Corporate Change, 19(5), 1515-1520.

Kopfle, J., & Hunter, R. (2008). Direct reduction's role in the world steel industry. Ironmaking & Steelmaking, 35(4), 254-259.

Kuik, O., & Hofkes, M. (2010). Border adjustment for European emissions trading: Competitiveness and carbon leakage. Energy policy, 38(4), 1741-1748.

Kuntke, P., Śmiech, K., Bruning, H., Zeeman, G., Saakes, M., Sleutels, T. H. J. A., ... & Buisman, C. J. N. (2012). Ammonium recovery and energy production from urine by a microbial fuel cell. Water research, 46(8), 2627-2636.

Lampadarios, E. (2016). Critical challenges for SMEs in the UK chemical distribution industry. Journal of Business Chemistry, 13(1), 17-32.

Langley, K. F. (1986). Energy efficiency in the UK iron and steel industry. Applied Energy, 23(2), 73-107.

Latorre, M. C., Olekseyuk, Z., & Yonezawa, H. (2020). Trade and foreign direct investment-related impacts of Brexit. The World Economy, 43(1), 2-32.

Lauber, V., & Jacobsson, S. (2016). The politics and economics of constructing, contesting and restricting socio-political space for renewables–The German Renewable Energy Act. Environmental Innovation and Societal Transitions, 18, 147-163.

Lechtenböhmer, S., Nilsson, L. J., Åhman, M., & Schneider, C. (2016). Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification–Implications for future EU electricity demand. Energy, 115, 1623-1631.

Lee, R. P. (2019). Alternative carbon feedstock for the chemical industry?-Assessing the challenges posed by the human dimension in the carbon transition. Journal of cleaner production, 219, 786-796.

Leeson, D., Mac Dowell, N., Shah, N., Petit, C., & Fennell, P. S. (2017). A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources. International Journal of Greenhouse Gas Control, 61, 71-84.

Lehmann, P., Creutzig, F., Ehlers, M. H., Friedrichsen, N., Heuson, C., Hirth, L., & Pietzcker, R. (2012). Carbon lock-out: advancing renewable energy policy in Europe. Energies, 5(2), 323-354.

Liebmann, H., & Kuder, T. (2012). Pathways and strategies of urban regeneration—deindustrialized cities in eastern Germany. European Planning Studies, 20(7), 1155-1172.

Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2014). Exergy analysis of energy-intensive production processes: advancing towards a sustainable chemical industry. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 89(9), 1288-1303.

Luiten, E. E., & Blok, K. (2003). Stimulating R&D of industrial energy-efficient technology; the effect of government intervention on the development of strip casting technology. Energy policy, 31(13), 1339-1356.

Lundvall, B. A. (1992). National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning. London: Pinter Publishers.

Lundvall, B. A. (2016). Innovation as an interactive process In B. A. Lundvall, The learning economy and the economics of hope (pp. 61-84). Anthem Press.

Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. Research policy, 31(2), 247-264.

Malerba, F. (2005). Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors. Economics of innovation and New Technology, 14(1-2), 63-82.

Malerba, F. (Ed.). (2004). Sectoral systems of innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge University Press.

Malerba, F., & Orsenigo, L. (1997). Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. Industrial and corporate change, 6(1), 83-118.

Malerba, F., & Pisano, G. P. (2019). Innovation, competition and sectoral evolution: an introduction to the special section on Industrial Dynamics. Industrial and Corporate Change, 28(3), 503-510.

Mantzos, L., Matei, N., Mulholland, E., Rózsai, M., Tamba, M., & Wiesenthal, T. (2018). JRC-IDEES 2015. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: http://data.europa.eu/89h/jrc-10110-10001

Mao, X., & He, C. (2018). A trade-related pollution trap for economies in transition? Evidence from China. Journal Of Cleaner Production, 200, 781-790.

Marçal, E. F., de Prince, D., Zimmermann, B., Merlin, G., & Simões, O. (2020). Assessing global economic activity linkages: The role played by United States, Germany and China. EconomiA.

Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. Research policy, 37(4), 596-615.

Markewitz, P., Zhao, L., Ryssel, M., Moumin, G., Wang, Y., Sattler, C., ... & Stolten, D. (2019). Carbon capture for CO2 emission reduction in the cement industry in Germany. Energies, 12(12), 2432.

Markusen, A. (2000). Des lieux-aimants dans un espace mouvant: une typologie des districts industriels. La richesse des régions, 85-119.

Markussen, P., & Svendsen, G. T. (2005). Industry lobbying and the political economy of GHG trade in the European Union. Energy Policy, 33(2), 245-255.

Mazur, C., Contestabile, M., Offer, G. J., & Brandon, N. P. (2015b). Understanding the drivers of fleet emission reduction activities of the German car manufacturers. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 3-21.

Millward-Hopkins, J., Zwirner, O., Purnell, P., Velis, C., Iacovidou, E., & Brown, A. (2018). Resource recovery and low carbon transitions: The hidden impacts of substituting cement with imported 'waste' materials from coal and steel production. Global Environmental Change, 53, 146-156.

Mirasgedis, S., Hontou, V., Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Gakis, N., Lalas, D., Loukatos, A., Gargoulas, N., Mentzis, A., Economidis, D., Triantafilopoulos, T., Korizi, K. and Mavrotas, G. (2008). Environmental damage costs from airborne pollution of industrial activities in the greater Athens, Greece area and the resulting benefits from the introduction of BAT. Environmental Impact Assessment Review, 28(1), pp.39-56.

Mokhtar, A., & Nasooti, M. (2020). A decision support tool for cement industry to select energy efficiency measures. Energy Strategy Reviews, 28, 100458.

Naegele, H., & Zaklan, A. (2019). Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?. Journal of Environmental Economics and Management, 93, 125-147.

Napp, T. A., Gambhir, A., Hills, T. P., Florin, N., & Fennell, P. S. (2014). A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 616-640.

Nelson, R. R. (Ed.). (1993). National Innovation Systems: A Comparative Analysis. Oxford University Press.

Nelson, R. R., & Nelson, K. (2002). Technology, institutions, and innovation systems. Research policy, 31(2), 265-272.

Nelson, R., Winter, S.G., 1982. An Evolutionary Theory of Economic Change. Harvard University Press, Cambridge.

Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Tinoco, R. A., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. Journal of Knowledge Management.

OECD. (2017). Gross domestic spending on R&D. Retrieved from: https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm

Office for National Statistics. (2019). Changes in the economy since the 1970s. Retrieved from: https://www.ons.gov.uk/economy/economicoutputandproductivity/output/articles/changesintheeconomysincethe1970s/2019-09-02

Pardo, N., & Moya, J. A. (2013). Prospective scenarios on energy efficiency and CO2 emissions in the European Iron & Steel industry. Energy, 54, 113-128.

Parker, R., & Cox, S. (2020). The state and the extractive industries in Australia: Growth for whose benefit?. The Extractive Industries And Society.

Partington, R. (2020). Watchdog attacks Tories for 'neglecting industrial strategy'. The Guardian. Retrieved from: https://www.theguardian.com/politics/2020/feb/19/watchdog-attacks-tories-for-neglecting-industrial-strategy-boris-johnson-uk-economy

Perel, M. (2002). One Point of View: Corporate Courage: Breaking the Barrier to Innovation. Research-Technology Management, 45(3), 9-17.

Pfeifer, S., Gordon, S., & Pooler, M. (2018). Is the UK's new industrial strategy starting to work?. Financial Times. Retrieved from: https://www.ft.com/content/bb242140-ef2b-11e8-89c8-d36339d835c0

Pisano, G. (2006). Profiting from innovation and the intellectual property revolution. Research policy, 35(8), 1122-1130.

Renn, O., & Marshall, J. P. (2016). Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the "Energiewende". Energy Policy, 99, 224-232.

Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. Human choice and climate change, 2(2), 327-399.

Rogge, K. S., & Hoffmann, V. H. (2010). The impact of the EU ETS on the sectoral innovation system for power generation technologies–Findings for Germany. Energy Policy, 38(12), 7639-7652.

Roudier, S., Sancho, L. D., Remus, R., & Aguado-Monsonet, M. (2013). Best Available Techniques (BAT) reference document for iron and steel production: Industrial emissions directive 2010/75/EU: integrated pollution prevention and control (No. JRC69967). Joint Research Centre (Seville site).

Sæther, B., Isaksen, A., & Karlsen, A. (2011). Innovation by co-evolution in natural resource industries: The Norwegian experience. Geoforum, 42(3), 373-381.

Schettkat, R., & Yocarini, L. (2006). The shift to services employment: A review of the literature. Structural change and economic dynamics, 17(2), 127-147.

Schmidt, S., & Minssen, H. (2007). Accounting for international assignments: The case of the German chemical industry. Journal of Human Resource Costing & Accounting.

Schorcht, F., Kourti, I., Scalet, B. M., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2013). Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide. European Commission Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies (Report EUR 26129 EN). Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Schuetze, A. & Seythal, T. (2019). German antitrust watchdog fines Thyssen, Salzgitter, Voestalpine. Reuters. Retrieved from: https://www.reuters.com/article/us-germany-steel/german-antitrust-watchdog-fines-thyssen-salzgitter-voestalpine-idUSKBN1YG0UA

Schwarze, K., Posdziech, O., Kroop, S., Lapeña-Rey, N., & Mermelstein, J. (2017). Green industrial hydrogen via reversible high-temperature electrolysis. ECS Transactions, 78(1), 2943

Shanks, W., Dunant, C., Drewniok, M., Lupton, R., Serrenho, A. and Allwood, J. (2019). How much cement can we do without? Lessons from cement material flows in the UK. Resources, Conservation and Recycling, 141, pp.441-454.

Singh, K. (2012). Chemistry in daily life. PHI Learning Pvt. Ltd..

Siva, V., Hoppe, T., & Jain, M. (2017). Green buildings in Singapore; analyzing a frontrunner's sectoral innovation system. Sustainability, 9(6), 919.

Song, L., Lieu, J., Nikas, A., Arsenopoulos, A., Vasileiou, G., & Doukas, H. (2020). Contested energy futures, conflicted rewards? Examining low-carbon transition risks and governance dynamics in China's built environment. Energy Research & Social Science, 59, 101306.

Sourisseau, S. (2018). The global iron and steel industry: from a bilateral oligopoly to a thwarted monopsony. Australian Economic Review, 51(2), 232-243.

Spear, B. (2014). Coal–Parent of the Industrial Revolution in Great Britain: The early patent history. World Patent Information, 39, 85-88.

Spear, B. (2019). Iron and steel patents: The sinews of the GB Industrial Revolution. World Patent Information, 58, p.101901.

Stahl. (2020). Statistics | stahl-online.de - Part 2 Retrieved from: https://en.stahl-online.de/index.php/statistics/2/

Statista. (2018). United Kingdom: distribution of gross domestic product (GDP) across economic sectors from 2008 to 2018. Retrieved from: https://www.statista.com/statistics/270372/distribution-of-gdp-across-economic-sectors-in-the-united-kingdom/

Stefana, E., Cocca, P., Marciano, F., Rossi, D., & Tomasoni, G. (2019). A Review of Energy and Environmental Management Practices in Cast Iron Foundries to Increase Sustainability. Sustainability, 11(24), 7245.

Stenberg, V., Rydén, M., Mattisson, T. and Lyngfelt, A. (2018). Exploring novel hydrogen production processes by integration of steam methane reforming with chemical-looping combustion (CLC-SMR) and oxygen carrier aided combustion (OCAC-SMR). International Journal of Greenhouse Gas Control, 74, pp.28-39.

Stephan, D. (2019). Downward Trend Continues: German Chemical Industry Cuts its 2019 Forecast. Retrieved from: https://www.process-worldwide.com/downward-trend-continues-german-chemical-industry-cuts-its-2019-forecast-a-845313/

Stockford, C., Brandon, N., Irvine, J., Mays, T., Metcalfe, I., Book, D., Ekins, P., Kucernak, A., Molkov, V., Steinberger-Wilckens, R., Shah, N., Dodds, P., Dueso, C., Samsatli, S. and Thompson, C. (2015). H2FC SUPERGEN: An overview of the Hydrogen and Fuel Cell research across the UK. International Journal of Hydrogen Energy, 40(15), pp.5534-5543.

Supino, S., Malandrino, O., Testa, M., & Sica, D. (2016). Sustainability in the EU cement industry: the Italian and German experiences. Journal of Cleaner Production, 112, 430-442.

Thollander, P., & Ottosson, M. (2010). Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. Journal of Cleaner Production, 18(12), 1125-1133.

Tradingeconomics. (2020). United Kingdom. [online] Retrieved from: https://tradingeconomics.com/united-kingdom

Trew, A. (2014). Spatial takeoff in the first industrial revolution. Review of Economic Dynamics, 17(4), pp.707-725.

Turnbull, P., Oliver, N., & Wilkinson, B. (1992). Buyer-supplier relations in the UK-automotive industry: Strategic implications of the Japanese manufacturing model. Strategic Management Journal, 13(2), 159-168.

Tvaronavičius, V., & Tvaronavičiene, M. (2008). Role of fixed investments in economic growth of country: Lithuania in European context. Journal of Business Economics and Management, 9(1), 57-64.

UNFCCC. (2018). Greenhouse Gas Inventory Data. Retrieved from: https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. Energy policy, 28(12), 817-830.

Unruh, G. C. (2002). Escaping carbon lock-in. Energy policy, 30(4), 317-325.

USGS (2020). Cement Statistics and Information. [online] Retrieved from: https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information

Usón, A. A., López-Sabirón, A. M., Ferreira, G., & Sastresa, E. L. (2013). Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23, 242-260.

VDZ. (2020). Cement markets, regional markets and the international environment. Retrieved from: https://www.vdz-online.de/en/cement-industry/cement-sector/cementmarkets/

Vögele, S., Grajewski, M., Govorukha, K., & Rübbelke, D. (2020). Challenges for the European steel industry: Analysis, possible consequences and impacts on sustainable development. Applied Energy, 264, 114633.

Vögele, S., Rübbelke, D., Mayer, P., & Kuckshinrichs, W. (2018). Germany's "No" to carbon capture and storage: just a question of lacking acceptance?. Applied Energy, 214, 205-218.

Vogl, V., Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2018). Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking. Journal of Cleaner Production, 203, 736-745.

Wachsmuth, J., & Duscha, V. (2019). Achievability of the Paris targets in the EU—the role of demand-side-driven mitigation in different types of scenarios. Energy Efficiency, 12(2), 403-421.

Weber, K. M., & Rohracher, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. Research Policy, 41(6), 1037-1047.

Wehrmann B. (2020). Germany's steel industry needs political support to cope with CO2-reduction – opinion. Retrieved from: https://www.cleanenergywire.org/news/germanys-steel-industry-needs-political-support-cope-co2-reduction-opinion.

Weng, Q., & Xu, H. (2018). A review of China's carbon trading market. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 613-619.

Wesseling, J. H., & Van der Vooren, A. (2017). Lock-in of mature innovation systems: the transformation toward clean concrete in the Netherlands. Journal of Cleaner Production, 155, 114-124.

Wesseling, J. H., Lechtenböhmer, S., Åhman, M., Nilsson, L. J., Worrell, E., & Coenen, L. (2017). The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonisation: Characteristics and implications for future research. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 1303-1313.

Woolthuis, R. K., Lankhuizen, M., & Gilsing, V. (2005). A system failure framework for innovation policy design. Technovation, 25(6), 609-619.

Worrell, E., & Biermans, G. (2005). Move over! Stock turnover, retrofit and industrial energy efficiency. Energy Policy, 33(7), 949-962.

WSP, Parsons Brinckerhoff and DNV-GL. (2015a). Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050 Cement. Report for the Department of Energy and Climate Change and the Department for Business, Innovation and Skills Retrieved from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/416674/Cement_Report.pdf

WSP, Parsons Brinckerhoff and DNV-GL. (2015b). Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050 Cross-Sector Summary. Report for the Department of Energy and Climate Change and the Department for Business, Innovation and Skills Retrieved from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/419912/Cross_Sector_Summary_Report.pdf

Zeng, B., & Zhu, L. (2019). Market Power and Technology Diffusion in an Energy-Intensive Sector Covered by an Emissions Trading Scheme. Sustainability, 11(14), 3870.

Zhang, J., & Liang, X. J. (2012). Promoting green ICT in China: A framework based on innovation system approaches. Telecommunications Policy, 36(10-11), 997-1013.

Κεφάλαιο 4. Μεταβάσεις εν μέσω πιέσεων ενός ισχυρού καθεστώτος ορυκτών καυσίμων: Η περίπτωση του τομέα μεταφορών σε Νορβηγία και Καναδά

4.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι μεταφορές καταλαμβάνουν σταθερά την δεύτερη θέση ανάμεσα στους τομείς με υψηλότερο ποσοστό ρύπων αερίων του θερμοκηπίου, πίσω από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (IEA, 2020). Ο τομέας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, ικανοποιώντας προσωπικές αλλά και εμπορικές ανάγκες. Οι εθνικές οικονομίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των μεταφορών. Τα περισσότερα μέσα μεταφοράς ωστόσο λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα και ευθύνονται για το 57% της παγκόσμιας ζήτησης πετρελαίου (Cazzola et al., 2016), το 23% της παγκόσμιας τελικής χρήσης ενέργειας και το 14% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Bunsen et al., 2018). Ως εκ τούτου, ο μετασχηματισμός των μεταφορών παγκοσμίως, σύμφωνα με τις προσπάθειες για την επίτευξη μιας παγκόσμιας οικονομίας μηδενικών εκπομπών καθίσταται αναγκαίος.

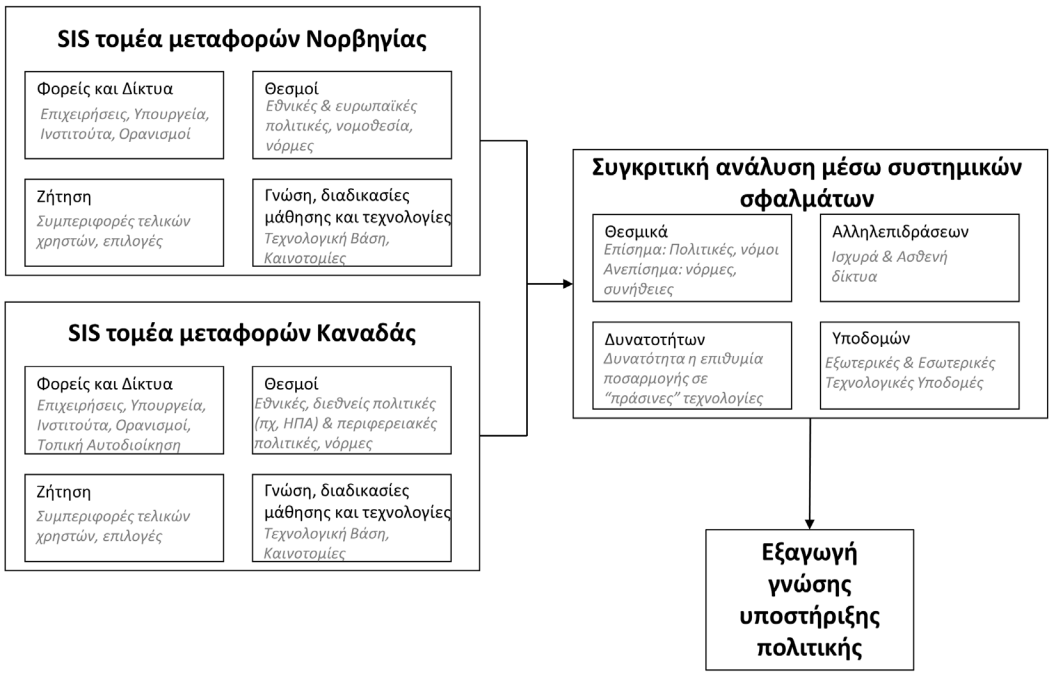
Τόσο οι επιβατικές όσο και οι εμπορευματικές μεταφορές είναι σημαντικές για την εξέταση της διάδοσης της καινοτομίας στον τομέα, δεδομένου ότι συμβάλλουν σχεδόν εξίσου στην τελική του κατανάλωση (Sims et al., 2014). Εκτός από τις βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης (πχ σε συμβατικούς κινητήρες), η μείωση των εκπομπών στις μεταφορές συνεπάγεται διείσδυση τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών, όπως ο εξηλεκτρισμός (π.χ., ηλεκτρικά οχήματα BEV και PHEV), καθώς και εκμετάλλευση λιγότερο συμβατικών καυσίμων, όπως τα βιοκαύσιμα και το υδρογόνο (οχήματα κυψέλης καυσίμου FCEV; Siskos et al., 2018).

Οι πρόσθετες τεχνολογικές βελτιώσεις από μόνες τους δεν επαρκούν για την αντιμετώπιση των προκλήσεων βιωσιμότητας στον τομέα των μεταφορών (Evans et al., 2009). Τα κοινωνικοτεχνικά συστήματα απαιτούν βαθιές αλλαγές προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις, όπως για παράδειγμα η αποδοχή λύσεων (EVs, μείωση του όγκου μεταφορών). Με στόχο την κατανόηση της συστημικής αλλαγής, η ανάλυση των δομικών χαρακτηριστικών του συστήματος παίζει κομβικό ρόλο (Savaget et al., 2019). Οι μελέτες με βάση τα συστήματα καινοτομίας επιτρέπουν την κατανόηση της δυναμικής της κοινωνικοτεχνικής αλλαγής μέσω των συνδέσεων μεταξύ φορέων και δικτύων, θεσμών και γνώσης (Freeman, 1991; Malerba, 2002), όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ειδικότερα, το SIS υπήρξε αξιόπιστο εργαλείο για μεγάλο μέρος της έρευνας στον τομέα των μεταφορών. Για παράδειγμα, οι Thiel et al. (2016) εξέτασαν την μείωση των εκπομπών του τομέα των μεταφορών εστιάζοντας στη χάραξη πολιτικής και όχι τόσο στην τεχνολογική καινοτομία. Οι Chan και Diam (2012) επικεντρώθηκαν στην πολιτική σχετικά με τον κινεζικό τομέα μεταφορών, ενώ ο Schade (2016) μελέτησε τον τομέα των μεταφορών της ΕΕ από διάφορες οπτικές γωνίες, συμπεριλαμβανομένης της απανθρακοποίησης.

Σκοπός του εν λόγω κεφαλαίου είναι η χαρτογράφηση του τομέα των μεταφορών της Νορβηγίας και του Καναδά από την σκοπιά της μετάβασης σε χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, εξετάζοντας τη δομή και τις λειτουργίες των συστημάτων καινοτομίας τους και αξιολογώντας τα πιθανά εμπόδια που θα μπορούσαν να εμποδίσουν τη χρήση και τη διάδοση βιώσιμων τεχνολογιών. Αντλώντας από την εξέταση και τη σύγκριση των δυο συστημάτων, στόχος μας είναι να αποκτήσουμε πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων πολιτικών, να ενημερώσουμε για τις αναδυόμενες εκκλήσεις από το εσωτερικό των συστημάτων και να αναδείξουμε κομβικά ζητήματα χάραξης πολιτικής για τα επόμενα βήματα της μετάβασης στις βιώσιμες μεταφορές. Οι δύο χώρες επιλέχθηκαν με βάση τα προφίλ τους, τα οποία είναι παρόμοια όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς ο τομέας των μεταφορών υπήρξε ιστορικά σημαντικός ρυπαντής με παρόμοια μερίδια και στα δύο συστήματα, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 24% των συνολικών εκπομπών κάθε χώρας. Από την άλλη, οι δύο χώρες διαφέρουν όσον αφορά τη διάδοση της καινοτομίας: αν και αμφότερες διαθέτουν υψηλά μερίδια εκπομπών από τις μεταφορές (IEA, 2020), τα μερίδια των ηλεκτρικών οχημάτων τους στο μείγμα των μεταφορών διαφέρουν σημαντικά. Η διαφορά αυτή επιτρέπει τη μεταφορά γνώσεων μεταξύ των δύο συστημάτων, οδηγώντας σε αποτελεσματικές συστάσεις πολιτικής στα πλαίσια μιας συγκριτικής ανάλυσης. Ωστόσο, ο σημαντικότερος παράγοντας αφορά το γεγονός ότι η εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι ένας κοινός κυρίαρχος παρονομαστής με σημαντική συνεισφορά στις εκπομπές (UNFCCC, 2020a), με αποτέλεσμα και οι δύο χώρες να είναι εγκλωβισμένες στα εγχώρια αποθέματα πετρελαίου τους, δημιουργώντας έτσι ένα καθεστώς υπό περιβάλλον ισχυρών πιέσεων από τη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων, παρά τις μεμονωμένες διαφορές: αν και η Νορβηγία κατέχει σημαντικά λιγότερα αποθέματα πετρελαίου, ένα μερίδιο (συνήθως λιγότερο από 3 τοις εκατό) του πλεονάσματος του πετρελαίου της (το μεγαλύτερο στον κόσμο του είδους του) χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του εθνικού προϋπολογισμού.

Σε αυτή τη λογική, η ανάλυση μας βασίζεται στο μεθοδολογικό πλαίσιο που εισήχθη στο προηγούμενο κεφάλαιο και συνδυάζει το (SIS) (Malerba, 2004), το οποίο μας επιτρέπει να εξετάσουμε την πολυδιάστατη δυναμική του τομέα των μεταφορών (Malerba, 2002), με στόχο τον προσδιορισμό του ρόλου των διαφόρων παραγόντων στην προώθηση της μετάβασης, με το σύστημα συστημικών σφαλμάτων (Woolthuis, 2005), το οποίο διερευνά πιθανά εμπόδια στη διάδοση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας. Ο τρόπος με τον οποίο συγκεκριμενοποιείται το μεθοδολογικό πλαίσιο του προηγούμενο κεφαλαίου στη λογική του τομέα των μεταφορών αποτυπώνεται στην Εικόνα 4.1. Σε μια ανασκόπηση της έρευνας για τις βιώσιμες μεταφορές, οι Zhao et al. (2020) έδειξαν ότι η συζήτηση γύρω από την πολιτική μεταφορών δίνει μεγάλη έμφαση στους δείκτες βιώσιμων μεταφορών, οι οποίοι ωστόσο απέτυχαν να επηρεάσουν αποτελεσματικά την χάραξη πολιτικής. Αντίθετα, ο συνδυασμός των δύο ποιοτικών πλαισίων που επιλέχθηκαν μας επιτρέπει να εμβαθύνουμε στις αντιδράσεις της αγοράς και του κοινού, γεγονός που αποτελεί βασικό παράγοντα για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών χωρίς υπερβολές (Eliasson and Proost, 2015).

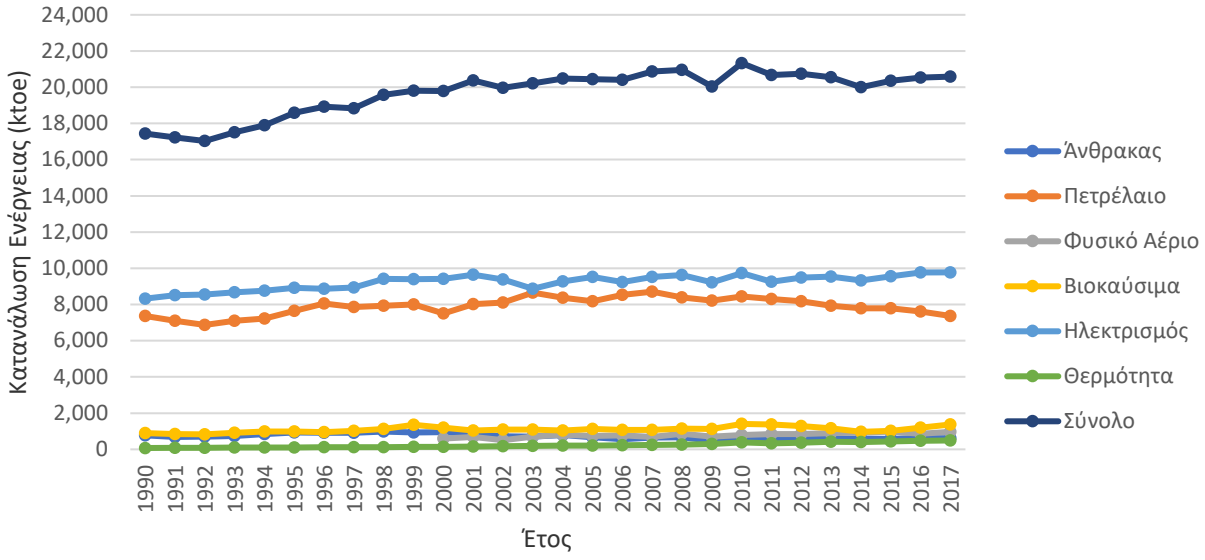


Εικόνα 4.1. Συνοπτική Μεθοδολογική προσέγγιση με βάση το μοντέλο διασύνδεσης SIS-SF

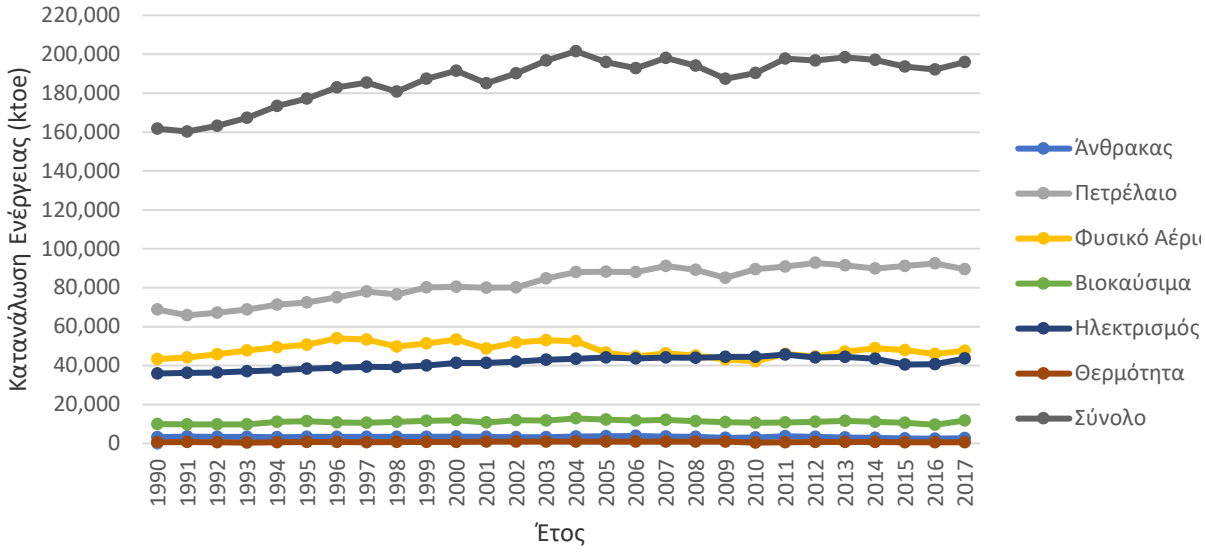
4.2 Το εθνικό υπόβαθρο των δύο χωρών

Η Νορβηγία κατατάσσεται στην 61η θέση αναφορικά με τις εκπομπές CO2, ενώ ο Καναδάς στην 11η, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 1.5% των παγκόσμιων εκπομπών (Global Carbon Atlas,

2016). Οι κύριες πηγές ενέργειας και στις δύο χώρες είναι τα προϊόντα πετρελαίου και η ηλεκτρική ενέργεια, ενώ στον Καναδά το φυσικό αέριο κατέχει επίσης σημαντικό μερίδιο (Εικόνα 4.2). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της Νορβηγίας είναι ότι το 95% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από υδροηλεκτρική ενέργεια, ενώ το αντίστοιχο μερίδιο στον Καναδά είναι περίπου 60% (Εικόνα 4.3) (IEA, 2020). Ωστόσο, οι μεγάλες ανισότητες στην κατανομή των πόρων του Καναδά δημιουργούν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επαρχιών (Fertel et al., 2013), όπως συμβαίνει με το υψηλό δυναμικό υδροηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή του Κεμπέκ (Vaillancourt et al., 2019). Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει παράγοντα για τη διευκόλυνση της μετάβασης σε ηλεκτρικά οχήματα, ιδίως σε ορισμένες περιφέρειες με αυξημένο μερίδιο παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Από την άλλη, ο Καναδάς είναι μεταξύ των κορυφαίων 5 παραγωγών και των κορυφαίων 10 καταναλωτών πετρελαίου, με μεγάλα εγχώρια αποθέματα, αντιπροσωπεύοντας το 10% παγκοσμίως (EIA, 2020b). Αυτό θα μπορούσε να παρεμποδίσει την ενεργειακή μετάβαση του τομέα μεταφορών του Καναδά, δεδομένου ότι τα εγχώρια αποθέματα διασφαλίζουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια του εφοδιασμού. Η Νορβηγία κατέχει επίσης έναν σημαντικό αριθμό εγχώριων αποθεμάτων πετρελαίου, αλλά γύρω στις 20 φορές χαμηλότερο από αυτό του Καναδά, ενώ τα δύο τρίτα της παραγωγής πετρελαίου εξάγονται (EIA, 2020a). Και στις δύο περιπτώσεις ωστόσο, ο τομέας των ορυκτών καυσίμων είναι εδραιωμένος και διαθέτει ισχυρή δύναμη, έχοντας τη δυνατότητα να ασκήσεις ισχυρές πιέσεις και να προκαλέσει διαταραχές σε κάθε μορφή βιώσιμης μετάβασης.

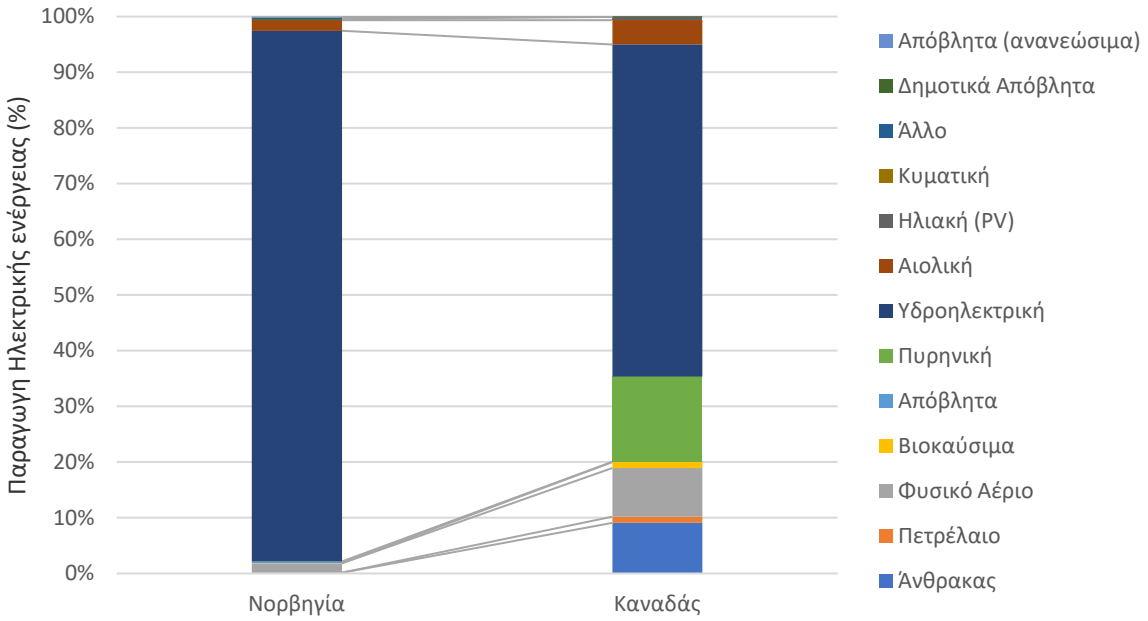


α) Νορβηγία



β) Καναδάς

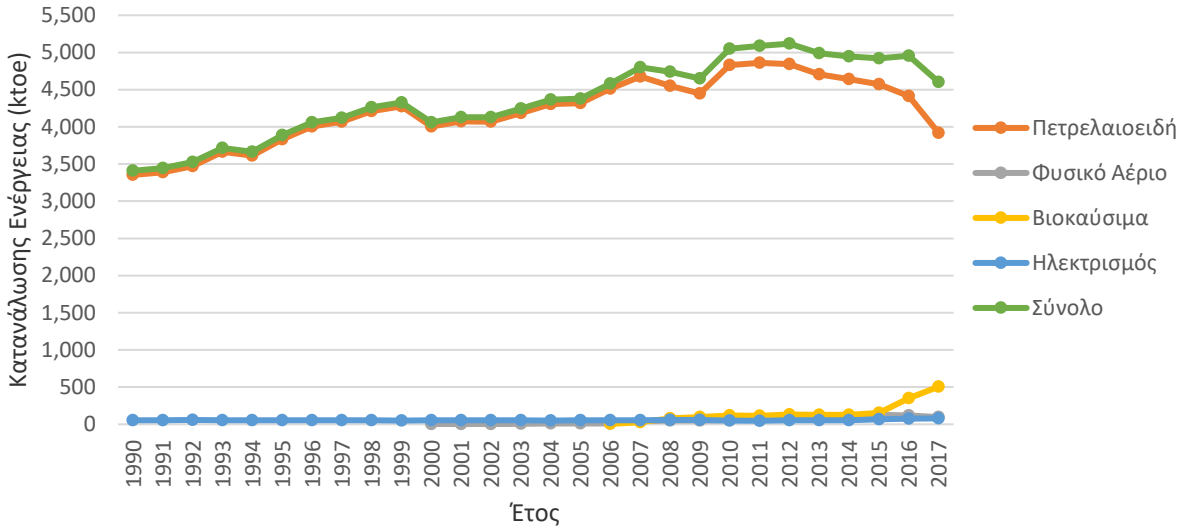
Εικόνα 4.2. Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά



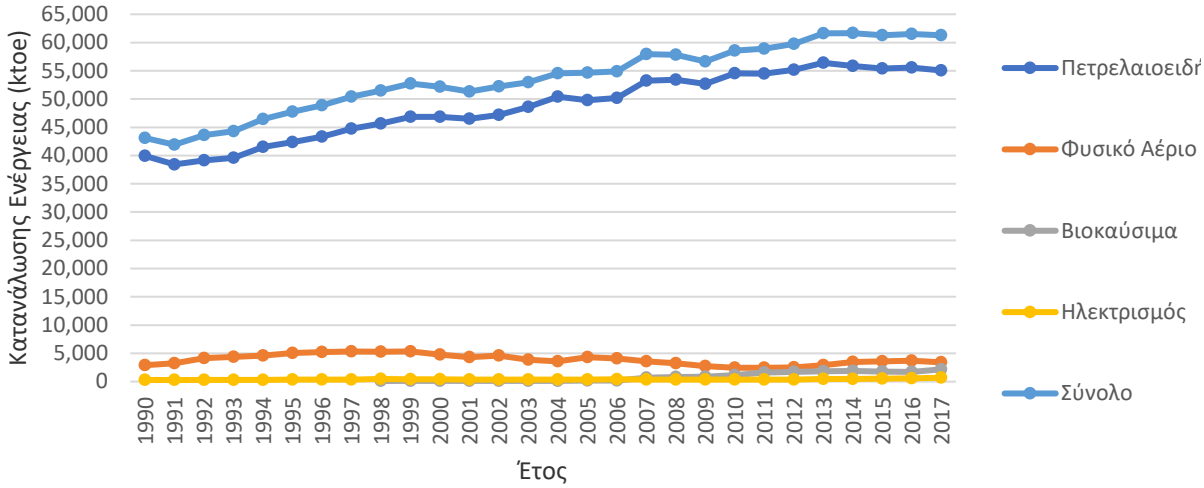
Εικόνα 4.3. Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή ενέργειας στη Νορβηγία και τον Καναδά

Ο τομέας των μεταφορών συμβάλλει στην τελική κατανάλωση ενέργειας με 22% και 31% στη Νορβηγία και τον Καναδά αντίστοιχα, και κυριαρχείται από τη χρήση πετρελαϊκών προϊόντων, (Εικόνα 4.4). Η συμβολή του πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών της Νορβηγίας έχει

μειωθεί από το 2011, με τα βιοκαύσιμα να σημειώνουν αύξηση από το 2015, ενώ στον Καναδά το μερίδιο του πετρελαίου παραμένει σχεδόν σταθερό.



α) Νορβηγία

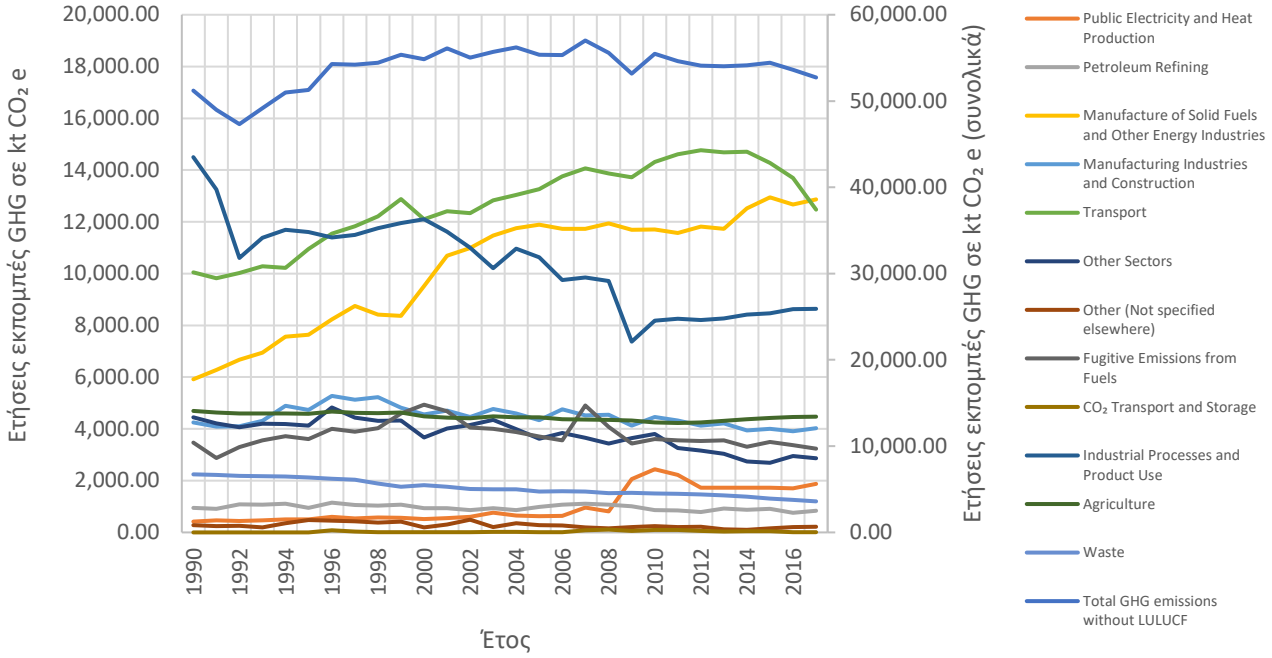


β) Καναδάς

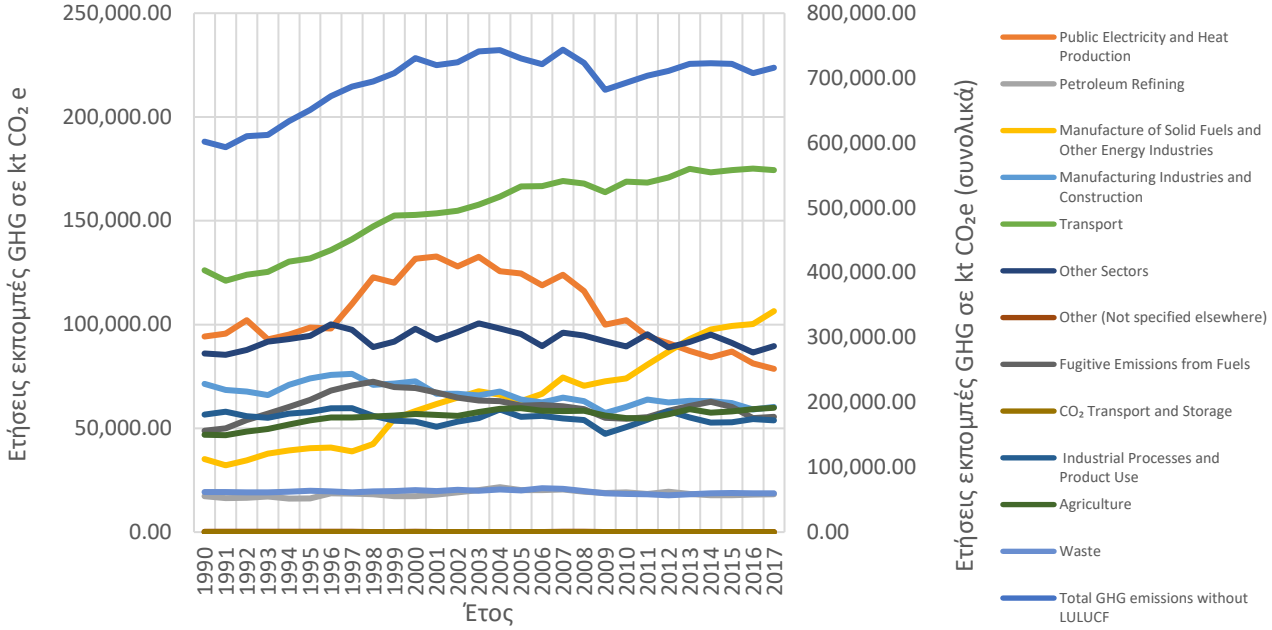
Εικόνα 4.4. Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές ανά πηγή ενέργειας α) Νορβηγία, και β) Καναδά

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους κύριους συντελεστές και στις δύο χώρες, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 24%, ενώ ένας

άλλος σημαντικός παράγοντας εκπομπών είναι η εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου ξεπερνώντας ακόμη και τις εκπομπές από τις μεταφορές στη Νορβηγία (Εικόνα 4.5).

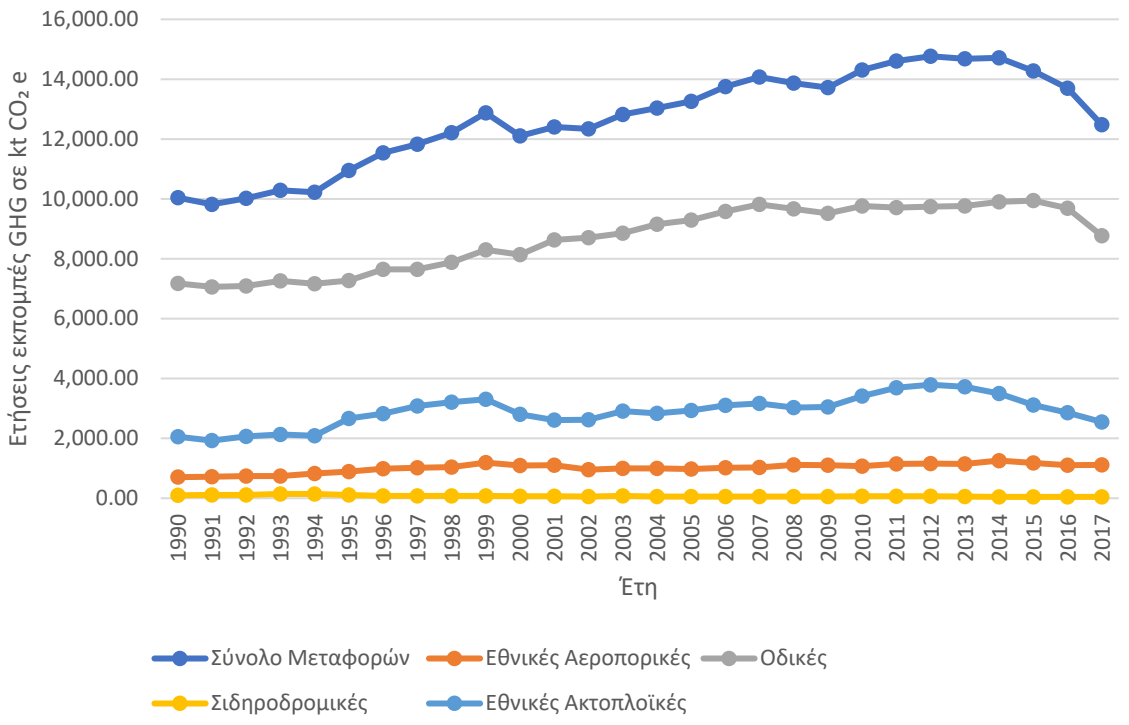


α) Νορβηγία

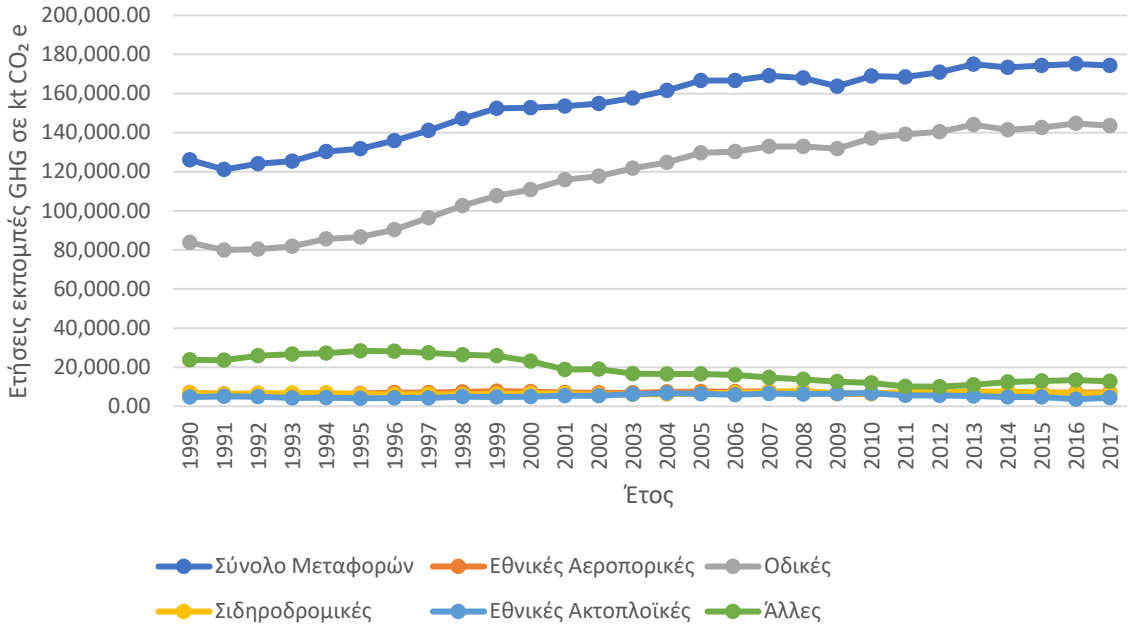


β) Καναδάς

Εικόνα 4.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά



α) Νορβηγία



β) Καναδάς

Εικόνα 4.6. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις μεταφορές ανά υποτομέα σε α) Νορβηγία, και β) Καναδά

Στα NDCs του 2015, η Νορβηγία έθεσε ως στόχο τη μείωση κατά 40% των εκπομπών CO2 έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 σε συνεργασία με την ΕΕ. Σε ακόλουθη δέσμευση του 2019, καθορίστηκε στόχος μείωσης κατά 35-40% στον τομέα των μεταφορών, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 (Norwegian Ministry of Climate and Environment, 2020), ενώ το 2020 η χώρα ενίσχυσε περαιτέρω τους συνολικούς στόχους της στο 50-55% (UNFCCC, 2020b). Ωστόσο, όσον αφορά τις μεταφορές, οι εκπομπές μειώνονται με αργούς ρυθμούς από το 2013 (Εικόνα 4.5) με την πτώση το 2017 να έχει προκληθεί κυρίως από την αύξηση των βιοκαυσίμων Ωστόσο, το 2017 ο τομέας εξακολουθούσε να ήταν μεταξύ των κορυφαίων ρυπαντών αερίων του θερμοκηπίου, ακολουθώντας ελαφρώς την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, και οι εκπομπές από τις μεταφορές αυξήθηκαν και πάλι από το 2017 έως το 2018 (SSB, 2020). Τα προκαταρκτικά στοιχεία δείχνουν ότι οι εκπομπές από τις μεταφορές μειώθηκαν και πάλι το 2019: 7.7% στις οδικές μεταφορές (κυρίως λόγω βιοκαυσίμων) και 6.5% στις εγχώριες θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές (SSB, 2020). Ωστόσο, είναι αναγκαίο να ληφθούν αυστηρότερα μέτρα για τον μετριασμό των εκπομπών CO2, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τη φιλοδοξία της χώρας για μηδενικές εκπομπές όλων των νέων επιβατικών οχημάτων και φορτηγών ελαφριού φορτίου από το 2025 (Norwegian Ministry of Transport and Communications, 2019).

Ο Καναδάς έχει επίσης θέσει στόχους στο πλαίσιο της συμφωνίας του Παρισιού για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών CO2 κατά 30%, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005. Σε αντίθεση με τη Νορβηγία, ο Καναδάς προβλέπει ότι οι πωλήσεις οχημάτων μηδενικών εκπομπών θα έχουν μερίδιο 10%, φθάνοντας σταθερά το 100% έως το 2040 (Government of Canada, 2020). Καμία από τις δύο χώρες δεν έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο όσον αφορά την μείωση των εκπομπών του τομέα, όπου στην περίπτωση του Καναδά οι εκπομπές το 2017 ήταν στην πραγματικότητα σε υψηλότερα επίπεδα από το 2005, ενώ η Νορβηγία κατάφερε να μειώσει ελαφρώς τις συνολικές εκπομπές από τις μεταφορές κατά 6% σε σύγκριση με το 2005. Η παρατήρηση αυτή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο κατά τη σύγκριση των πολιτικών μεταξύ των δύο χωρών, καθώς ακόμη και στην περίπτωση της Νορβηγίας, η πρόοδος είναι πολύ περιορισμένη σε σύγκριση με τις δεσμεύσεις της χώρας (και την πρωτοκαθεδρία της στον τομέα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων).

Όσον αφορά την ένταση άνθρακα, η Νορβηγία παρουσιάζει μείωση στις οδικές μεταφορές από το 2006, και το 2017 η ένταση άνθρακα της κατανάλωσης του οδικού τομέα ήταν 61.3 gCO2/MJ.

Ομοίως, η ένταση άνθρακα του Καναδά αντίστοιχα μειώθηκε επίσης από το 2006, φθάνοντας τα 67.3 gCO2/MJ. Ωστόσο, η ένταση άνθρακα των οδικών μεταφορών και των δύο χωρών παραμένει χαμηλότερη από το παγκόσμιο επίπεδο (68 gCO2/MJ) (IEA, 2020).

4.3 Το SIS μεταφορών της Νορβηγίας

Φορείς και δίκτυα

Ο νορβηγικός τομέας μεταφορών αποτελείται από ένα δίκτυο φορέων που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα υποτομέων, συμπεριλαμβανομένων των οδικών, σιδηροδρομικών, πλωτών μεταφορών, και την πολιτική αεροπορία, που λειτουργούν υπό τη διακυβέρνηση του νορβηγικού Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών κάτω από το οποίο λειτουργούν πολλές διοικητικές υπηρεσίες. Ωστόσο, σχετικοί φόροι και κανονισμοί που ρυθμίζουν τις μεταφορές τελούν υπό τη διαχείριση άλλων υπουργείων, όπως το Υπουργείο Οικονομικών και το Υπουργείο Κλίματος και Περιβάλλοντος. Η Norwegian Public Roads Administration (NPRA) είναι υπεύθυνη για το σύστημα οδικών μεταφορών της χώρας, προσπαθώντας να αυξήσει την ασφάλεια μέσω της εφαρμογής έξυπνων λύσεων. Η διαχείριση του σιδηροδρομικού τομέα, μετά τη μεταρρύθμιση των σιδηροδρόμων το 2015, μοιράζεται μεταξύ της δημόσιας εταιρείας Bane NOR που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του σιδηροδρομικού δικτύου και της Norwegian Railway Directorate που διαχειρίζεται και συντονίζει τον τομέα από μια ευρύτερη σκοπιά, διερευνώντας πιθανές εξελίξεις. Ομοίως, η Civil Aviation Authority (CAA) εποπτεύει όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τις εμπορικές αεροπορικές μεταφορές (Bråthen et al., 2000), ενώ η Norwegian National Coastal Administration διαχειρίζεται τους λυμένες και τις θαλάσσιες οδούς. Το Νορβηγικό Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Αλιείας δραστηριοποιείται επίσης στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, καθώς η Norwegian Maritime Authority (NMA), η οποία υπάγεται στο υπουργείο, είναι υπεύθυνη για τα πλοία υπό νορβηγική σημαία και που βρίσκονται στα νορβηγικά ύδατα, διασφαλίζοντας τη νομική προστασία και την εφαρμογή των πολιτικών δράσης για το κλίμα.

Όπως και στην περίπτωση της Bane NOR, το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών δεν βασίζεται μόνο σε δημόσιους οργανισμούς αλλά λειτουργεί επίσης μεγάλο αριθμό κρατικών εταιρειών. Ο Όμιλος Vy, πρώην Norwegian State Railways (NSB), αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες στις Σκανδιναβικές Χώρες, δραστηριοποιούμενος κυρίως σε επιβατικά τρένα και υπηρεσίες λεωφορείων στη Νορβηγία και τη Σουηδία, ενώ μέσω της θυγατρικής εταιρείας CargoNet, προσφέρει φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις σιδηροδρομικών

εμπορευματικών μεταφορών. Η εκμετάλλευση των σιδηροδρομικών γραμμών αποτέλεσε πρόσφατα αντικείμενο δημοπράτησης, προκειμένου να επιτραπεί ο ανταγωνισμός. Για παράδειγμα, η Go-Ahead Norway, μια νορβηγική θυγατρική της βρετανικής εταιρείας Go-Ahead, κέρδισε πρόσφατα ορισμένα σημαντικά τμήματα από τον όμιλο Vy. Στοχεύοντας επίσης στον τομέα της κινητικότητας και του τουρισμού, η εταιρεία επιδιώκει την καινοτομία έχοντας ένα στόλο 250 ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η οικονομική ισχύς της εταιρείας, μαζί με άλλες δημόσιες εταιρείες στις μεταφορές με λεωφορεία, όπως η Boreal Norge AS και η Tide ASA, έχουν περιορίσει τις ιδιωτικές εταιρείες στις περιφερειακές αγορές. Από την άλλη, η ιδιωτική εταιρεία Autolink AS, επικεντρώνεται στη διανομή αυτοκινήτων μέσω των θυγατρικών της Cargolink AS και Motorships AS, για σιδηροδρόμους και ναυτιλία αντίστοιχα. Η Avinor AS είναι άλλη μια εταιρεία που ανήκει στο Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών και εκμεταλλεύεται την πλειονότητα των κρατικών αεροδρομίων. Η εταιρεία αποτελεί έναν βασικό φορέα για τη βιώσιμη μετάβαση, αξιολογώντας επί του παρόντος τον εξηλεκτρισμό της πολιτικής αεροπορίας σε συνεργασία με τον οργανισμό Zero Emission Resource Organisation (ZERO). Μια άλλη ένωση που στοχεύει στη βιωσιμότητα των μεταφορών είναι η Norsk Elbilforening, η οποία εστιάζει στην προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ως ο μεγαλύτερος οργανισμός συμφερόντων των καταναλωτών στις Σκανδιναβικές Χώρες, η Norwegian Automobile Federation έχει σημαντική επιρροή, συμμετέχοντας σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών EV. Το Υπουργείο έχει επίσης υπό την κατοχή του μια σειρά κατασκευαστικών εταιρειών όπως τη Nye Veier AS, η οποία κατασκευάζει, λειτουργεί και συντηρεί ορισμένους μεγάλους αυτοκινητόδρομους, και την BaneService, που λειτουργεί κυρίως ως υπεργολάβος της Bane NOR. Ο συνδυασμός ισχυρών κρατικών εταιρειών και ιδιωτικών επιχειρήσεων αποδεικνύει τον αυξημένο ρόλο της κυβέρνησης στην οικονομία της Νορβηγίας (Vasudeva, 2013).

Ο πετρελαϊκός τομέας αποτελεί τη μεγαλύτερη βιομηχανία της Νορβηγίας (Government of Norway, 2020). Μεγάλες εταιρείες όπως η Equinor ASA, ένας από τους ισχυρότερους φορείς στη Νορβηγία όσον αφορά την εκμετάλλευση πετρελαίου και φυσικού αερίου (Kharlamov et al., 2018), και η Norsk Hydro, η οποία επικεντρώνεται κυρίως στο αλουμίνιο, μπορούν να θεωρηθούν εκτός των ορίων του νορβηγικού SIS μεταφορών. Ωστόσο, ενεργώντας στα όρια του συστήματος ως σημαντικοί παράγοντες της ενεργειακής βιομηχανίας, έχουν τη δύναμη να διαμορφώσουν και καθορίσουν μονοπάτια που επηρεάζουν την προσπάθεια απανθρακοποίησης των μεταφορών (Saboori et al., 2013).

Στον τομέα της έρευνας, σημαντικός παράγοντας στις μεταφορές είναι το Institute of Transport Economics (TØI), ένα ίδρυμα που, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Όσλο, επικεντρώνεται στη διεξαγωγή εφαρμοσμένης και ακαδημαϊκής έρευνας για όλους τους υποτομείς των μεταφορών, συμβουλεύει τις αρμόδιες αρχές και επικοινωνεί βασικά ερευνητικά αποτελέσματα. Το TØI είναι επίσης μέρος της Nordic Road and Transport Research, η οποία είναι μια συνεργασία μεταξύ των ερευνητικών ιδρυμάτων των σκανδιναβικών χωρών, με στόχο την αποτελεσματική διάδοση των αποτελεσμάτων στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, βοηθώντας τη μεταφορά γνώσης μεταξύ των χωρών. Ένα άλλο σημαντικό ερευνητικό ίδρυμα στη Νορβηγία είναι το CICERO Center for International Climate Research, το οποίο διεξάγει διεπιστημονική έρευνα για την κλιματική αλλαγή (Fuglestvedt, 2020).

Θεσμοί

Η Νορβηγία θεωρείται συχνά πρωτοπόρος στους κλιματικούς στόχους, όντας ένα από τα πρώτα κράτη που το 2008 δεσμεύτηκαν να γίνουν κλιματικά ουδέτερα έως το 2050 (Rosenthal 2020; Gössling, 2009). Ωστόσο, παρά τους ελπιδοφόρους στόχους, η ουδετερότητα δεν έχει νομοθετηθεί επίσημα, δημιουργώντας σύγχυση σχετικά με την ουσία των αρχικών στόχων και την κατεύθυνση της νορβηγικής πολιτικής (Hermansen et al., 2020). Στην πραγματικότητα, ο νορβηγικός νόμος για την κλιματική αλλαγή που ψηφίστηκε το 2017, θέτει γενικούς στόχους για να γίνει η Νορβηγία μια κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα έως το 2050, αλλά δεν διευκρινίζει ότι όλες οι περικοπές στις εκπομπές θα πραγματοποιηθούν στη Νορβηγία. Η Νορβηγία ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό την Ευρωπαϊκή Ένωση και συμμετέχει στα EU-ETS και ESR, παρά το γεγονός ότι δεν είναι κράτος μέλος (Sæverud and Wettestad, 2006; Hermansen et al., 2020).

Το 2016, το Εθνικό Σχέδιο Μεταφορών 2018-2029 αναθεωρήθηκε προκειμένου να μετασχηματιστεί ο τομέας ώστε να μειωθούν οι εκπομπές και το κόστος, καθώς και να αυξηθεί η ασφάλεια και η χρήση νέων τεχνολογιών. Μια συνεκτική στρατηγική ήταν απαραίτητη για τη Νορβηγία καθώς, όπως αναγνωρίζεται στο σχέδιο, ο τομέας των μεταφορών που αντιπροσωπεύει το ένα τέταρτο των συνολικών αερίων του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως στη χαμηλή πυκνότητα του πληθυσμού. Για τη χρηματοδότηση του εκσυγχρονισμού των μεταφορών, περίπου 100 δισεκατομμύρια ευρώ πρόκειται να χρησιμοποιηθούν έως το 2030 με στόχο την επίτευξη σημαντικής μείωσης των εκπομπών σε λεωφορεία, πούλμαν και φορτηγά με ποσοστά μείωσης που κυμαίνονται από 50 έως 100% έως το 2030, αυξάνοντας παράλληλα

το ποσοστό βιοκαυσίμων στις αερομεταφορές στο 30% έως το 2030 (Grantham Research Institute, 2017). Σύμφωνα με το σχέδιο, όλα τα νέα επιβατικά οχήματα που θα ταξινομηθούν από το 2025 αναμένεται να είναι μηδενικών εκπομπών.

Η Νορβηγία θεωρείται κορυφαία χώρα στις πολιτικές ηλεκτρικών οχημάτων (ΕV), με το υψηλότερο κατά κεφαλήν μερίδιο ηλεκτρικών οχημάτων στον κόσμο. Ήδη από το 2014, πάνω από το 18% των νέων αυτοκινήτων που πωλήθηκαν ήταν ηλεκτρικά (Ryghaug and Toftaker, 2016), με αποκορύφωμα το 60% τον Μάρτιο του 2019 (Nikel, 2020). Έκτοτε, το ποσοστό αυτό μειώθηκε ελαφρώς, με τις πωλήσεις καινούργιων αυτοκινήτων το 2019 να κυμαίνονται σε ποσοστό 42% σε ηλεκτρικά οχήματα και 14% σε plug-in υβριδικά (Henley and Ulven, 2020). Οι επιδόσεις αυτές είναι αποτέλεσμα μιας μακροπρόθεσμης προσπάθειας, δεδομένου ότι το κράτος παρείχε κίνητρα για ηλεκτρικά οχήματα ήδη από το 1990: τα ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονταν από τον φόρο εισαγωγής και προστιθέμενης αξίας, μια απαλλαγή που έγινε μόνιμη το 1996. Το 1997 απαλλάχθηκαν από τα διόδια, ενώ το 2000 τα ηλεκτρικά οχήματα εξαιρέθηκαν επίσης από τον ΦΠΑ (Aasness and Odeck, 2015). Τα κίνητρα αυτά κατάφεραν να κατανείμουν το κόστος εξηλεκτρισμού μεταξύ των τελικών χρηστών και του κράτους, καθιστώντας τα οικονομικά επωφελή για ολόκληρη την οικονομία (Figenbaum and Kolbenstvedt, 2013). Ωστόσο, η πολιτική κινήτρων αντιμετώπισε ορισμένες επικρίσεις όσον αφορά τη βασική ιδέα της παρέμβασης προς όφελος μιας τεχνολογίας, με τις κριτικές να εστιάζονται και σε διαχειριστικά ζητήματα όπως η ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων να χρησιμοποιούν λεωφορειολωρίδες που προκαλούν κυκλοφοριακά προβλήματα (Holtsmark, 2012). Η κριτική αυτή, σε συνδυασμό με την αυξημένη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των πολυτελών μοντέλων (και τη χρήσης τους ως δεύτερα αυτοκίνητα σε μια οικογένεια), οδήγησε στη σταδιακή κατάργηση των κινήτρων με τη μορφή του «κανόνα του 50%», ο οποίος ξεκίνησε το 2017, με στόχο τον περιορισμό των κινήτρων για τους ναύλους των πορθμείων, τους δημόσιους χώρους στάθμευσης και τους δρόμους με διόδια, στο 50% της τιμής των οχημάτων ορυκτών καυσίμων (Norsk Elbilforening, 2020).

Για να εξηγηθούν οι ισχυρές πολιτικές υπέρ των ΕV στη Νορβηγία, υπάρχει ανάγκη να ληφθεί υπόψη το ευρύτερο πλαίσιο μετριασμού της κλιματικής αλλαγής της χώρας. Καθώς η νορβηγική ηλεκτρική ενέργεια είναι ήδη κατά 95% ανανεώσιμη (υδροηλεκτρικά), υπάρχει μικρό περιθώριο στον εν λόγω τομέα, ο οποίος σε άλλες χώρες κρίνεται κομβικός, κάτι το οποίο αυξάνει την ανάγκη απανθρακοποίησης του τομέα μεταφορών. Έτσι, όπως φαίνεται στην Εικόνα

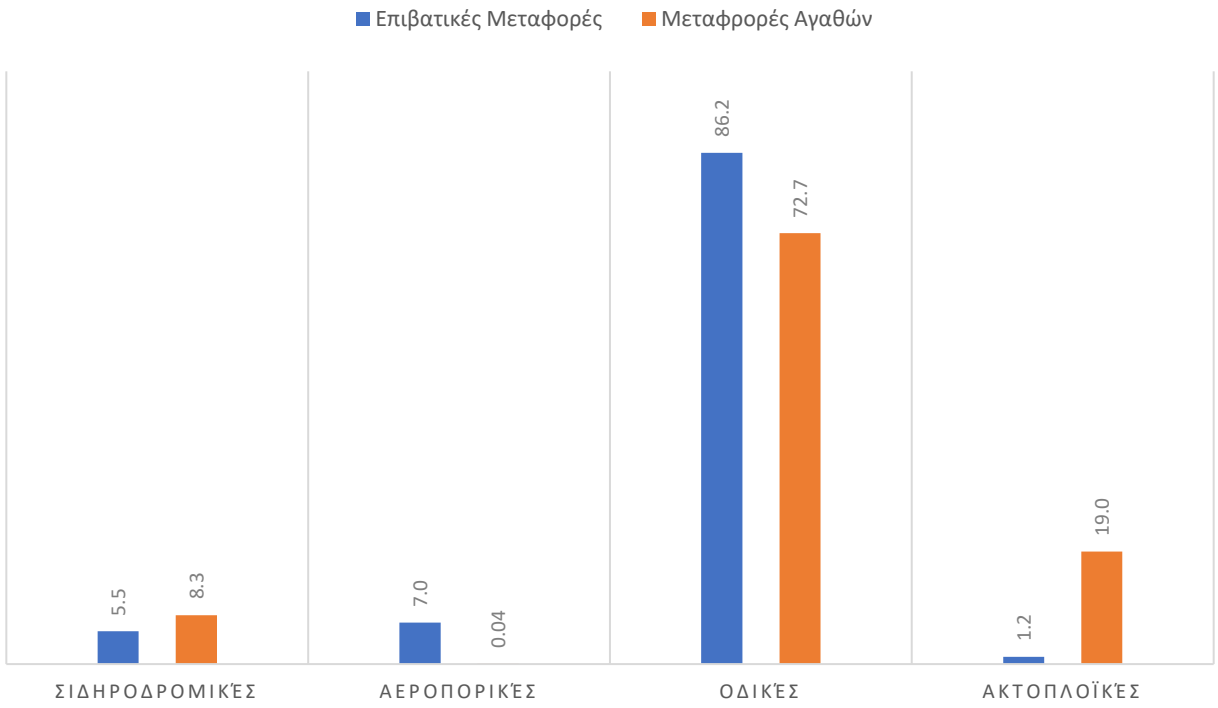
4.5, οι τομείς του πετρελαίου και της βιομηχανίας αποτελούν τους κορυφαίους τομείς εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη χώρα μαζί με τις μεταφορές. Οι δύο τομείς αυτοί καλύπτονται από το EU-ETS, πρόσθετα στο γενικό φόρο CO2 (που θεσπίστηκε το 1991) και, ως εκ τούτου, ρυθμίζονται ήδη όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Από το 1990, οι βιομηχανικές εκπομπές έχουν μειωθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα τεράστιων προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης που χρηματοδοτούνται από το κράτος. Αντίθετα, οι εκπομπές από την εξόρυξη πετρελαίου αυξήθηκαν την ίδια περίοδο (1990-2018) κατά περισσότερο από 70%, αλλά η μείωση των εκπομπών από τον τομέα είναι πολιτικά δαπανηρή λόγω της κεντρικής θέσης του πετρελαϊκού τομέα στην εθνική οικονομία. Ως εκ τούτου, η πολιτική προσοχή στρέφεται σε έναν άλλο τομέα υψηλής έντασης εκπομπών, τις μεταφορές, όπου μόνο οι αερομεταφορές καλύπτονταν μέχρι πρόσφατα από το EU-ETS, πριν την ανανέωση του μηχανισμού στα πλαίσια του "Fit for 55" πακέτου. Σύμφωνα με τον κανονισμό της ΕΕ για τον επιμερισμό των προσπαθειών (ESR), η Νορβηγία πρέπει να μειώσει τις εκπομπές εκτός ETS κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005, και οι εκπομπές που καλύπτονται από το ESR θα πρέπει να μειωθούν στην εγχώρια αγορά. Δεδομένου ότι η Νορβηγία έχει πολύ μικρές εκπομπές από κτίρια και απόβλητα, ο γεωργικός τομέας έχει ήδη μια συμφωνία με τις αρχές για τη μείωση των εκπομπών, και οι σιδηρόδρομοι λειτουργούν σε μεγάλο βαθμό με ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. αυτό που απομένει είναι ουσιαστικά οι οδικές και θαλάσσιες μεταφορές (κάτι που με την ενίσχυση της φιλοδοξίας στα πλαίσια του EGD αναμένεται να παίξει ακόμα μεγαλύτερη σημασία). Ιδιαίτερα οι οδικές μεταφορές φορολογούνται ήδη σε μεγάλο βαθμό. Ως εκ τούτου, είναι πολιτικά λιγότερο δαπανηρή η έμμεση επιδότηση των ηλεκτρικών οχημάτων μέσω χαμηλότερων φόρων, από την επιβολή περισσότερων φόρων και τελών στις οδικές μεταφορές. Για τους ίδιους λόγους, είναι πολιτικά λιγότερο δαπανηρό να απαιτείται από τους πωλητές καυσίμων να αναμειγνύουν ένα ορισμένο μερίδιο βιοκαυσίμων σε ορυκτά καύσιμα στην αντλία. Το κόστος για τους φορολογούμενους για τις φιλόδοξες πολιτικές για τα EV είναι, ωστόσο, λιγότερο ορατό στη δημόσια συζήτηση. Όσον αφορά τις θαλάσσιες μεταφορές, οι κεντρικοί παράγοντες προβλέπουν σημαντικό δυναμικό οικονομικής ανάπτυξης στην πράσινη ναυτιλία και, ως εκ τούτου, σημαντικά δημόσια κονδύλια Ε&Α αναμένεται να κατευθυνθούν προς τον τομέα της ναυτιλίας. Ωστόσο, το μέγεθος αυτών των κεφαλαίων είναι μικρό σε σύγκριση με τα κεφάλαια Ε&Α που διατίθενται στον τομέα του πετρελαίου.

<u>Ζήτηση</u>

Η Νορβηγία το 2019 είχε εκτιμώμενο πληθυσμό περίπου 5.3 εκατομμυρίων ανθρώπων (Statistics Norway, 2020) και χαρακτηρίζεται από χαμηλή πυκνότητα λόγω της μεγάλης έκτασης που καλύπτει, γεγονός που στη συνέχεια οδηγεί σε αύξηση των αναγκών για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων (Sovacool et al., 2018). Ωστόσο, η ευρύτερη περιοχή του Όσλο έχει περισσότερους από ένα εκατομμύριο κατοίκους δημιουργώντας ένα πολύπλοκο σύστημα αστικής και μη αστικής οργάνωσης, με τις μισές δραστηριότητες δημόσιων μεταφορών να πραγματοποιούνται εκεί (TØI, 2020). Αυτό το αραιό πληθυσμιακό πρότυπο, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ακτογραμμή και το γεγονός ότι πολλοί άνθρωποι και επιχειρήσεις βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, απαιτεί τη χρήση ποικίλων μεθόδων μεταφοράς από την πλευρά της ζήτησης, κάτι που είναι επίσης εμφανές από την κατανομή των εκπομπών όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6, όπου παρά την κυριαρχία των οδικών μεταφορών, άλλα μέσα όπως οι πλωτές και αεροπορικές μεταφορές συνεισφέρουν σε επίπεδο εκπομπών με μη αμελητέα μερίδια.

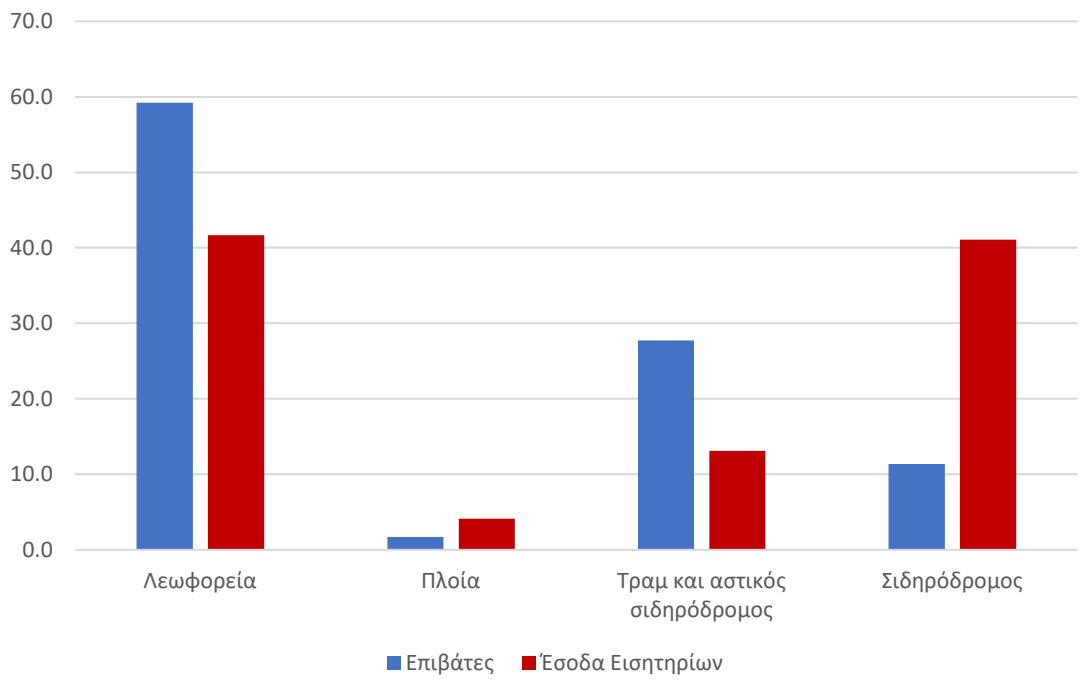
Το 2018, τα ταξινομημένα ιδιωτικά οχήματα ήταν 2.7 εκατομμύρια, εκ των οποίων το 7% ήταν ηλεκτρικά (0.2 εκατομμύρια αυτοκίνητα). Από το 2019, υπάρχουν 2.4 εκατομμύρια νοικοκυριά στη Νορβηγία, πράγμα που σημαίνει ότι, κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό διαθέτει ένα όχημα. Το 2018, τα επιβατικά αυτοκίνητα κάλυψαν σχεδόν 58 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα, δηλαδή περίπου το 78% των 74 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων που διένυσαν όλα τα οδικά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των λεωφορείων και των φορτηγών.

Στο εσωτερικό, οι μεταφορές επιβατών το 2018 αντιπροσώπευαν 84,445 εκατομμύρια επιβατοχιλιόμετρα, ενώ οι μεταφορές εμπορευμάτων ήταν 53,081 εκατομμύρια τονοχιλιόμετρα, από τα οποία 26,706 περιλαμβάνουν τις ηπειρωτικές μεταφορές, ενώ τα υπόλοιπα περιλαμβάνουν μεταφορές στη νορβηγική υφαλοκρηπίδα. Στην Εικόνα 4.7 παρουσιάζεται το μερίδιο κάθε τομέα τόσο στις επιβατικές όσο και στις εμπορευματικές μεταφορές. Παρόλο που παρατηρείται αυξημένο ποσοστό θαλάσσιων μεταφορών για τις εμπορευματικές μεταφορές, η πλειονότητα των εμπορευμάτων απαιτεί διανομή σε μικρές αποστάσεις (Rødseth et al., 2018), εδραιώνοντας περαιτέρω την κυριαρχία των οδικών μεταφορών (Statistics Norway, 2020).



Εικόνα 4.7. Μερίδια επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών στο εσωτερικό της Νορβηγία το 2018

Η ικανότητα των σιδηροδρομικών μεταφορών να μετατρέπουν τις επιβατικές μεταφορές σε έσοδα ύψους περίπου 500 εκατομμυρίων ευρώ παρέχει στον υποτομέα τη δυνατότητα αποτελεσματικής χρηματοδότησης της καινοτομίας με στόχο τη βιωσιμότητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.8.



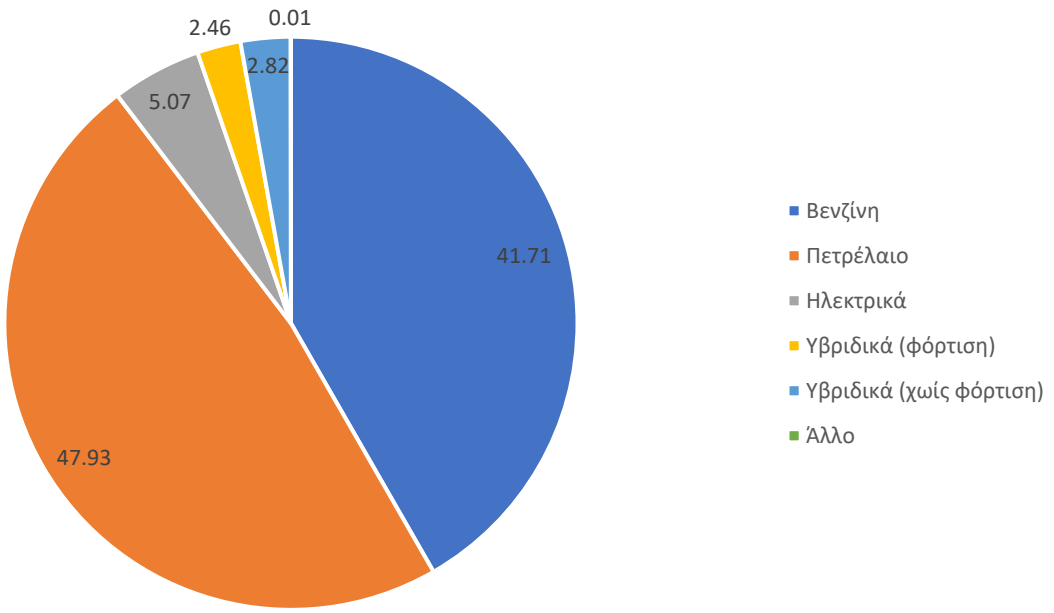
Εικόνα 4.8. Μερίδια επιβατών δημόσιων μεταφορών και έσοδα από εισιτήρια το 2018

Γνώση, διαδικασίες μάθησης και τεχνολογίες

Η υπάρχουσα τεχνολογική βάση των νορβηγικών μεταφορών βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα σε όλους τους επιμέρους υποτομείς. Ωστόσο, η αυξημένη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθιστά τον εξηλεκτρισμό των μεταφορών αποτελεσματική οδό για τη βιωσιμότητα του SIS. Έχουν αναληφθεί, αν και είναι ακόμη πρόωρες, πρωτοβουλίες σε όλο το φάσμα των υποτομέων γεγονός που υποδηλώνει τη θετική στάση των φορέων απέναντι στη διαδικασία.

Η Νορβηγία είναι μία από τις κορυφαίες χώρες όσον αφορά τη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων (Ryghaug and Toftaker, 2016), έχοντας ήδη ξεκινήσει τη μετάβαση προς τη βιωσιμότητα. Το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας βασίζεται κυρίως στην υδροηλεκτρική ενέργεια, με μερίδιο τουλάχιστον 95% (Εικόνα 4.3) που θα μπορούσε να φτάσει ακόμη και το 99% ανάλογα με τις ετήσιες συνθήκες (Egging and Tomasgard, 2018). Η παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας καλλιεργεί ιδανικές συνθήκες για τον εξηλεκτρισμό, σε αντίθεση με περιοχές/χώρες στις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά οχήματα προέρχεται από ορυκτά καύσιμα και που έχουν μειωμένα οφέλη από την ηλεκτροδότηση (Singh and Strømman, 2013). Τα νορβηγικά νοικοκυριά βασίζονται επίσης στη

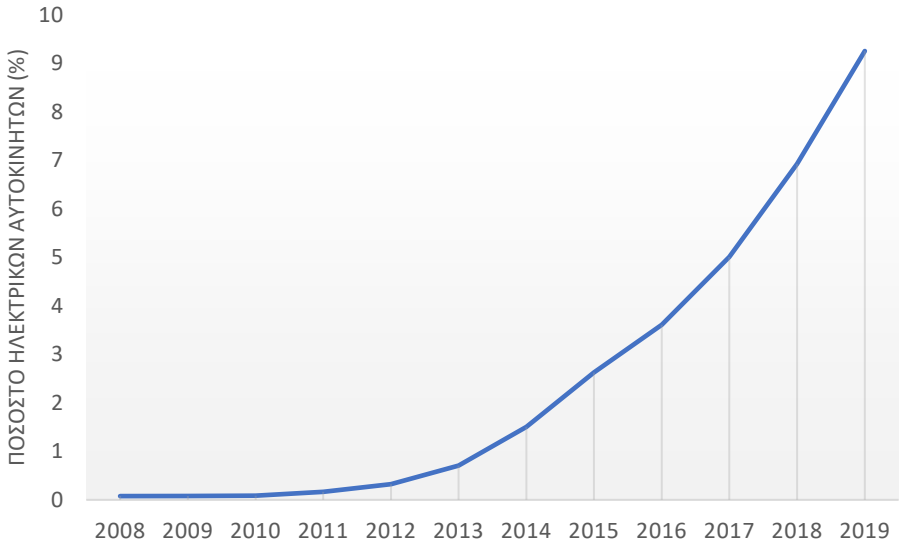
φόρτιση στο σπίτι, δεδομένου ότι το 75% έχει το δικό του χώρο στάθμευσης (Hardman et al., 2018) αντισταθμίζοντας το αρνητικά φαινόμενα που προκαλούνται από τη μικρή αναλογία ταχυφορτιστών σε σύγκριση με τα BEV (Gnamm et al., 2018). Ταυτόχρονα, η κατασκευή της υποδομής φορτιστών στη Νορβηγία πραγματοποιήθηκε με δημόσια στήριξη ήδη από το 2009, ωστόσο η υποδομή ταχείας φόρτισης της Νορβηγίας υποστηρίχθηκε κυρίως από τοπικές εταιρείες κοινής ωφέλειας, οι οποίες ξεκίνησαν τον πρώτο γύρο στήριξης για τη λειτουργία σταθμών ταχείας φόρτισης (Lorentzen et al., 2017). Παρά τις ευνοϊκές συνθήκες, η διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.9, καθώς στο μείγμα καυσίμων = στα ιδιωτικά αυτοκίνητα το 2017 κυριαρχούν τα πετρελαιοειδή.



Εικόνα 4.9. Μερίδιο καυσίμων στα ιδιωτικά αυτοκίνητα το 2017

Τα ορυκτά καύσιμα κυριάρχησαν στα ιδιωτικά αυτοκίνητα το 2017, με τα πετρελαιοκίνητα οχήματα να αποτελούν σχεδόν το ήμισυ του στόλου. Το ενεργειακό περιεχόμενο ανά λίτρο είναι υψηλότερο για το ντίζελ από ό,τι για τη βενζίνη (Ó Gallachóir et al., 2009), περιορίζοντας το περιθώριο απόδοσης που παρέχουν τα ηλεκτρικά οχήματα και καταδεικνύοντας ότι η αύξηση της απόδοσης καυσίμου των οχημάτων θα απαιτήσει ευρύτερες αλλαγές στον κλάδο των μεταφορών (Aamaas and Peters, 2017). Ωστόσο, το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο των ταξινομημένων αυτοκινήτων αυξάνεται σταδιακά, φθάνοντας σχεδόν το 7% το 2018

και το 9 % το 2019 (Εικόνα 4.10). Η απόσταση που κάλυψαν τα ηλεκτρικά οχήματα, όμως, κατά την ίδια περίοδο ήταν 5,3% του συνόλου, ξεπερνώντας το 7% ένα χρόνο αργότερα το 2019, όπου τα ηλεκτρικά οχήματα κάλυψαν 3,400 εκατομμύρια χιλιόμετρα σε σύνολο 45,562 εκατομμυρίων χιλιομέτρων (Statistics Norway, 2020). Η χρήση βιοκαυσίμων έχει επίσης αυξηθεί τα τελευταία χρόνια (Εικόνα 4.4), αλλά το κόστος παραγωγής έχει οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα εισαγωγών (Hagos et al., 2017). Η διαμάχη γύρω από τα βιοκαύσιμα (Marsh, 2008), ιδίως όσον αφορά τη μη βιωσιμότητα του φοινικέλαιου ως πηγής (Bjorkhaug et al., 2018), σε συνδυασμό με τις ασυνέπειες πολιτικής που σχετίζονται με τα κίνητρα, περιορίζει τη διάδοση της καινοτομίας στον τομέα των βιοκαυσίμων στο νορβηγικό σύστημα (Fevolden and Klitkou, 2017). Παρά τους φιλόδοξους στόχους που έχουν τεθεί για τον εξηλεκτρισμό, τα βιοκαύσιμα αποτελούν σημαντικό πρόσθετο μέτρο στο πλαίσιο της στρατηγικής της Νορβηγίας για την απανθρακοποίηση στον τομέα των μεταφορών.



Εικόνα 4.10. Μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στη Νορβηγία

Όσον αφορά τις πλωτές μεταφορές, οι προσπάθειες επικεντρώνονται επίσης στον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων στα οχηματαγωγά, τα επιβατηγά σκάφη, αλλά και σε άλλα μέσα μεταφοράς, όπως τα φορτηγά μεταφοράς φορτίου, με την εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων (Renkel and Lümmen, 2018). Παρά το γεγονός ότι η διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί την κύρια καινοτομία στο νορβηγικό σύστημα μεταφορών, ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών έχει επίσης σημαντικό μερίδιο στη μεταφορά εμπορευμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7. Ενώ η Νορβηγία δεν διαθέτει αυτοκινητοβιομηχανία, ο ναυτιλιακός τομέας είναι

τεχνολογικά πρωτοποριακός από διεθνή άποψη, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την παραγωγή του πρώτου πλήρως ηλεκτρικού πλοίου το 2015 από τη νορβηγική εταιρεία Norled και την ηγετική θέση της χώρας στη χρήση ηλεκτρικών πλοίων την επόμενη περίοδο (Chin et al., 2019). Στο NDC της Νορβηγίας για το 2015, μαζί με τις φιλοδοξίες για μείωση των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών, γίνεται αναφορά στη φιλική προς το περιβάλλον ναυτιλία ως μέρος των τομέων προτεραιότητας των εθνικών πολιτικών της χώρας. Στο σχέδιο δράσης της κυβέρνησης για την πράσινη ναυτιλία (Norwegian Government, 2020) περιγράφηκαν πολλοί χρηματοδοτικοί οργανισμοί που θα μπορούσαν να παράσχουν χρηματοδοτική στήριξη, όπως η Enova, της οποίας ο ρόλος ως σημαντικού φορέα χρηματοδότησης θα διατηρηθεί τις επόμενες περιόδους, η Innovation Norway με την πράσινη ναυτιλία να αποτελεί σημαντικό αποδέκτη σχεδόν 7 εκατομμυρίων ευρώ και το πρόγραμμα MAROFF από το Συμβούλιο Έρευνας της Νορβηγίας, με το Υπουργείο Εμπορίου να παρέχει σχεδόν 16 εκατομμύρια ευρώ για τη θαλάσσια έρευνα και καινοτομία το 2017. Η συνεργασία μεταξύ των αρχών και του επιχειρηματικού τομέα είναι επίσης σημαντική με συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα που δημιουργήθηκαν, όπως το Πρόγραμμα Πράσινης Ναυτιλίας, λαμβάνοντας περισσότερα από μισό εκατομμύριο ευρώ από τον εθνικό προϋπολογισμό το 2019. Στη συνέχεια, το 2016 το Εθνικό Σχέδιο Μεταφορών 2018-2029 έθεσε τη φιλοδοξία ότι έως το 2030, το 40% όλων των πλοίων στις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων θα χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα ή θα είναι πλοία χαμηλών και μηδενικών εκπομπών και θα διασφαλίζουν ότι όλα τα νέα εθνικά οχηματαγωγά πλοία χρησιμοποιούν επίσης λύσεις χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών. Η πράσινη ναυτιλία λαμβάνει επίσης μέρος των νορβηγικών πακέτων τόνωσης της οικονομίας μετά την έκρηξη της COVID-19.

Σε μια παρόμοια προσέγγιση στον τομέα των αερομεταφορών, η Avinor απέκτησε ένα μικρό ηλεκτρικό αεροπλάνο για να ενεργοποιήσει την έρευνα για τον εξηλεκτρισμό των αεροπορικών μεταφορών, αν και η πρόοδος είναι περιορισμένη σε σύγκριση με τις θαλάσσιες μεταφορές.

Το νορβηγικό σιδηροδρομικό δίκτυο αποτελείται κατά 62% από ηλεκτροκίνητες γραμμές από το 2007 (Statistics Norway, 2020), ενώ από το 2019 υπήρχαν περισσότερα από 1,000 χιλιόμετρα μη ηλεκτροδοτούμενων γραμμών (Zenith et al., 2019), που καλύπτονταν κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Ο εξηλεκτρισμός των υπόλοιπων τμημάτων του δικτύου ή η εισαγωγή αποδοτικότερων καυσίμων αποτελεί μείζονα πρόκληση για το SIS μεταφορών στη Νορβηγία, λόγω του κόστους και του αραιού πληθυσμού.

4.4 Το SIS μεταφορών του Καναδά

Φορείς και δίκτυα

Ο τομέας μεταφορών του Καναδά χαρακτηρίζεται από ποικίλες δραστηριότητες ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα μέσα, εξαιτίας της έκτασης του, ομοίως με την Νορβηγία. Κάθε υποτομέας μεταφοράς σχετίζεται με διαφορετικούς φορείς ενώσεις, δίκτυα και εταιρείες. Όσον αφορά τη αυτοκινητοβιομηχανία, ο Καναδάς θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές αυτοκινήτων παγκοσμίως, κατασκευάζοντας περισσότερα από 2 εκατομμύρια οχήματα ετησίως (OICA, 2020). Παρά το γεγονός ότι ο Καναδάς αποτελεί μια σημαντική βιομηχανική χώρα στον εν λόγω τομέα, δεν υπάρχει κατασκευαστής αυτοκινήτων που εδρεύει εγχώρια. Όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς είναι εταιρείες εγκατεστημένες σε άλλες χώρες, ιδίως στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία (π.χ. GM και Toyota) (Government of Canada, 2018). Ο Καναδάς φιλοξενεί επίσης έναν από τους σημαντικότερους κατασκευαστές λεωφορείων παγκοσμίως και τον μεγαλύτερο στη Βόρεια Αμερική, τον Όμιλο NFI, καθώς και έναν από τους σημαντικότερους κατασκευαστές τρένων και αεροπλάνων, την Bombardier Inc. Επιπλέον, λόγω της αφθονίας των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, ο Καναδάς συμμετέχει επίσης ενεργά στην παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, ειδικά στις δυτικές επαρχίες (Radović et al., 2018). Υπάρχουν καναδικές καθώς και διεθνείς εταιρείες ορυκτών καυσίμων που δραστηριοποιούνται στον Καναδά. Όσον αφορά τις πρώτες, η Suncor Energy και η εταιρία Καναδικών Φυσικών Πόρων θεωρούνται από τους μεγαλύτερους φορείς στη χώρα. Οι διεθνείς εταιρείες όπως η Chevron και η Exxon Mobil, ορυκτών καυσίμων είναι επίσης αρκετά δραστήριες. Αυτή η δραστηριότητα των εταιρειών ορυκτών καυσίμων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο σύστημα, δεδομένου ότι συνήθως συμμετέχουν σε εκστρατείες για την προώθηση των δραστηριοτήτων τους, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως εμπόδιο κατά των γρήγορων δράσεων αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, δεδομένου ότι η βιομηχανία ενέργειας συμβάλλει σημαντικά στην καναδική οικονομία (Vaillancourt et al., 2015).

Εκτός από τους κατασκευαστές οχημάτων και τους παραγωγούς ορυκτών καυσίμων, οι εταιρείες εκμετάλλευσης επιβατικών μεταφορών διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του καναδικού τομέα μεταφορών και στην τεχνολογική μετάβασή του σε χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε πόλη και κωμόπολη στον Καναδά έχει το δικό της δίκτυο αστικών λεωφορείων, ενώ οι τρεις μεγαλύτερες πόλεις (Τορόντο, Μόντρεαλ και Βανκούβερ) διαθέτουν επίσης σύστημα μετρό. Επιπλέον, ορισμένες μικρότερες πόλεις (όπως

το Κάλγκαρι και το Έντμοντον) διαθέτουν σύστημα σιδηροδρόμου μικρής κλίμακας για τις αστικές μεταφορές (Calgary Transit, 2018). Αυτός ο πλουραλισμός ανεξάρτητων δικτύων και ενώσεων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ανάγκη συνεργασίας και συντονισμού, η οποία δεν είναι πάντοτε εύκολα εφικτή, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση των δράσεων για τη μετάβαση σε ένα πιο πράσινο σύστημα.

Εκτός από τις αστικές συγκοινωνίες, ο Καναδάς, όντας η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα στον κόσμο, χαρακτηρίζεται από μια ποικιλία εταιρειών λεωφορείων και τρένων που εκτελούν δρομολόγια μεγάλων αποστάσεων. Όσον αφορά τις εμπορευματικές μεταφορές, ο Καναδάς φιλοξενεί 70 δημόσιες και ιδιωτικές σιδηροδρομικές εταιρείες και περίπου 208,000 επιχειρήσεις φορτηγών (Transport Canada, 2018). Όσον αφορά τις θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές, υπάρχουν λιγότερες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στη χώρα και η πλειοψηφία τους έχει έδρα σε άλλες χώρες, ειδικά όσον αφορά τις διεθνείς μεταφορές. Οι μόνες εξαιρέσεις είναι οι αεροπορικές εταιρείες Air Canada (επιβατικές και εμπορευματικές), WestJet (επιβατικές) και Air Transat (επιβατικές), οι οποίες εξυπηρετούν πολλούς διεθνείς προορισμούς.

Όπως προαναφέρθηκε και στην περίπτωση της Νορβηγίας, οι μεταφορές είναι ένας σύνθετος τομέας, καθώς αποτελείται από πολλούς επιμέρους υποτομείς, όπως οι οδικές, οι σιδηροδρομικές, οι θαλάσσιες και οι αεροπορικές μεταφορές, οι οποίοι μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε επιβατικές και εμπορευματικές, και οι οποίοι τομείς απαιτούν πολλές φορές διαφορετικές λύσεις (χαμηλών εκπομπών). Ως εκ τούτου, υποστηρίζεται από πολλές ενώσεις που επηρεάζουν τον τομέα και τη διάδοση των νέων τεχνολογιών. Σε τοπικό επίπεδο, η CUTA (Καναδική Ένωση Αστικών Συγκοινωνιών) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διάδοση της γνώσης, την υπεράσπιση των αστικών αρχών και την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων τοπικών αρχών διαμετακόμισης. Αποτελείται από εκατοντάδες μέλη, όπως πανεπιστήμια, ομοσπονδιακά και επαρχιακά υπουργεία, επιχειρήσεις και αρχές αστικών συγκοινωνιών. Μερικά σημαντικά μέλη αυτής της ένωσης είναι το Ινστιτούτο Έρευνας Μεταφορών του Πανεπιστημίου του Τορόντο, η Ένωση Μεταφορών του Καναδά (TAC) και εταιρείες όπως ο Όμιλος NFI. Ομοίως η TAC, είναι ένας παρόμοιος οργανισμός με πολλά μέλη, αλλά με ευρύτερο φάσμα δράσεων, εστιάζοντας στις οδικές μεταφορές και τις υποδομές σε εθνικό και τοπικό επίπεδο, ενώ οι πυλώνες δράσης της περιλαμβάνουν την προστασία του περιβάλλοντος και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής: έχει δημιουργήσει το δικό της Συμβούλιο Περιβάλλοντος

και Κλιματικής Αλλαγής, το οποίο προτείνει τεχνικές λύσεις τόσο για τον μετριασμό όσο και για την προσαρμογή. Παρόμοιες κεντρικές οργανώσεις για άλλα μέσα μεταφοράς είναι η Ένωση Σιδηροδρόμων του Καναδά (RAC), η Ναυτιλιακή Ομοσπονδία του Καναδά και η Ένωση Αεροπορικών Μεταφορών του Καναδά (ATAC). Υπάρχουν επίσης ενώσεις που εκπροσωπούν ενδιαφερόμενους φορείς εμπορευματικών μεταφορών. Το συμβούλιου Private Motor Truck Council του Καναδά είναι η κύρια καναδική ένωση που προωθεί τα συμφέροντα των ιδιωτικών εταιρειών φορτηγών και διαδίδει γνώσεις για θέματα που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές. Υπάρχουν επίσης ενώσεις που εκπροσωπούν εταιρείες που αγοράζουν υπηρεσίες εμπορευματικών μεταφορών και συμβάλλουν στην με την πελατειακή τους βάσης. Η Ένωση Διαχείρισης Εμπορευματικών Μεταφορών του Καναδά (FMA) θεωρείται σημαντική ομοσπονδία μεταξύ αυτών, με την ετήσια συνεισφορά των μελών της στην καναδική οικονομία να αντιπροσωπεύει 100 δισεκατομμύρια δολάρια.

Εκτός από πολλές ενώσεις, υπάρχουν επίσης ομοσπονδιακοί και δημόσιοι φορείς που εμπλέκονται στον τομέα των μεταφορών, ειδικά στη διάδοση νέων πράσινων τεχνολογιών. Σημαντικός παράγοντας δημιουργίας και διάχυσης της γνώσης είναι το Ινστιτούτο Έρευνας Μεταφορών του Πανεπιστημίου του Τορόντο, το οποίο εκτός των άλλων δραστηριοποιείται σε ερευνητικούς τομείς όπως τα εναλλακτικά καύσιμα και η κυκλοφοριακή συμφόρηση (University of Toronto Transportation Research Institute, 2020). Ένα άλλο πανεπιστήμιο που διεξάγει έρευνα στις μεταφορές και ιδιαίτερα στα ηλεκτρικά οχήματα είναι το Πανεπιστήμιο Concordia στο Κεμπέκ, συγγράφοντας μεγάλο αριθμό δημοσιεύσεων που σχετίζονται με την ηλεκτρική κινητικότητα, ενώ το Ινστιτούτο Ερευνών Hydro-Quebec, που ανήκει στη δημόσια επιχείρηση Hydro-Quebec, επικεντρώνεται επίσης στην έρευνα που ηλεκτρικών τεχνολογιών όπως οι μπαταρίες (Haley, 2015).

Οι θεσμοί της ομοσπονδιακής κυβέρνησης σχετίζονται επίσης με τη βιώσιμη μετάβαση στον τομέα των μεταφορών της χώρας. Το Transport Canada είναι το υπουργείο που σχετίζεται με τους κανονισμούς που αφορούν τον τομέα, προωθώντας πολιτικές για την ασφαλή, αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία του. Το Environment and Climate Change Canada αποτελεί το υπουργείο που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή και τη δράση για την αντιμετώπισης της, διαδραματίζοντας επίσης σημαντικό ρόλο στον τομέα των μεταφορών, καθώς είναι υπεύθυνο για σχετικές πτυχές (π.χ., ατμοσφαιρική ρύπανση). Τέλος, το 2015, το Καναδικό Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος (CCME), αποτελούμενο από τους

υπουργούς Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής των επαρχιών του Καναδά καθώς και από τον ομοσπονδιακό υπουργό, ίδρυσε μια Επιτροπή Κλιματικής Αλλαγής (CCC), με στόχο την εφαρμογή του Πανκαναδικού Πλαισίου για την Καθαρή Ανάπτυξη και την Κλιματική Αλλαγή (PCF), το οποίο θέτει διάφορους στόχους για ολόκληρη την οικονομία.

Θεσμοί

Μεταξύ των οικονομικών τομέων στους οποίους στοχεύει το σχέδιο PCF, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία, τη γεωργία και τις μεταφορές. Όσον αφορά τον τελευταίο τομέα, η κλιματική πολιτική αναλύεται σε τέσσερις πυλώνες: καθορισμός αυστηρότερων προτύπων και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αύξηση του ποσοστού των οχημάτων μηδενικών εκπομπών, επενδύσεις σε δημόσιες συγκοινωνίες και υποδομές, και χρήση καθαρότερων καυσίμων. Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτού του πλαισίου είναι ο εξηλεκτρισμός των μεταφορών στο Κεμπέκ, το οποίο σκόπευε να έχει 100.000 ηλεκτρικά οχήματα μέχρι το 2020, με τη διάθεση τουλάχιστον 6.2 δισεκατομμυρίων δολαρίων για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής με έμφαση στον εξηλεκτρισμό, όπως φαίνεται στον σχετικό προϋπολογισμό της επαρχίας (Government of Quebec, 2020). Ο εξηλεκτρισμός των μεταφορών στο Κεμπέκ, μια επαρχία που διαθέτει ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υδροηλεκτρική ενέργεια, θεωρείται σημαντικό μέτρο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Haley, 2015).

Ένα άλλο σημαντικό μέτρο που έλαβε η καναδική κυβέρνηση είναι η ψήφιση του νόμου Greenhouse Gas Pollution Pricing Act (GHGPPA) στα τέλη του 2018. Ο νόμος καθόρισε τέλη για τη χρήση καυσίμων σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του τομέα των μεταφορών, οι οποίοι εξαρτώνται από τις εκπομπές που παράγονται από την καύση κάθε καυσίμου και διαφέρουν σε κάθε επαρχία, και εφαρμόζεται στις περιοχές Οντάριο, Νιου Μπρούνσγουικ, Μανιτόμπα, Σασκάτσουαν, Αλμπέρτα και Γιούκον και Νούναβουτ (Justice Laws, 2020). Η νομοθεσία αφορά τους διανομείς και παραγωγούς καυσίμων και συγκεκριμένους οδικούς, σιδηροδρομικούς, θαλάσσιους και αερομεταφορείς φορείς, οι οποίοι πρέπει να εγγραφούν σε πλατφόρμα της Υπηρεσίας Εσόδων του Καναδά (CRA), προκειμένου να καταγράψουν τη χρήση καυσίμων, η οποία χρεώνεται σύμφωνα με τις σχετικές εκπομπές (Canada Revenue Agency, 2020). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος για τους ενδιαφερόμενους φορείς των μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των ατόμων που δεν ασχολούνται επαγγελματικά με αυτόν τον τομέα, δεδομένου ότι η τιμή των καυσίμων στα βενζινάδικα αυξήθηκε (Abedi, 2020).

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας του περιβαλλοντικού δικαίου είναι η περιφερειακή διαίρεση του Καναδά: η χώρα χωρίζεται σε τρία ομοσπονδιακά εδάφη και δέκα επαρχίες με τη δική τους νομοθεσία, η οποία μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο φιλόδοξη από την ομοσπονδιακή νομοθεσία. Για παράδειγμα, οι επαρχίες του Κεμπέκ και της Αλμπέρτα έχουν νομοθετήσει τους δικούς τους κανονισμούς τιμολόγησης του άνθρακα, το 2007 και το 2015 αντίστοιχα, ενεργώντας ταχύτερα από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση (Erutku, 2019; Brown et al., 2018). Από την άλλη, η επαρχία του Οντάριο, αν και έχει θεσπίσει το δικό της σύστημα τιμολόγησης άνθρακα από το 2017 (Erutku, 2019), έδειξε μεγάλη αντίσταση στην προτεινόμενη GHGPPA της ομοσπονδιακής κυβέρνησης. Η επαρχιακή κυβέρνηση του Οντάριο, στην πραγματικότητα, ξεκίνησε νομικές διαδικασίες αμφισβητώντας τη συνταγματικότητα του εν λόγω νόμου, αλλά το Εφετείο του Οντάριο έκρινε ότι η GHGPPA δεν παραβιάζει το καναδικό σύνταγμα. Υπήρξε μια παρόμοια υπόθεση στο Εφετείο της επαρχίας του Σασκάτσουαν που κατέληξε σε παρόμοια ετυμηγορία (Climate Change Litigation, 2018). Παρά το αποτέλεσμά τους, αυτές οι εκκλήσεις δείχνουν ότι η επαρχιακή νομοθεσία και πολιτική μπορεί να μην ενεργεί πάντα ευεργετικά για τη δράση για το κλίμα, οδηγώντας πολλές φορές σε συγκρούσεις με την ομοσπονδιακή πολιτική, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, η περιφερειακή περιβαλλοντική και κλιματική πολιτική μπορεί να δράσει ταχύτερα από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση, και στα δύο ενδεχόμενα με επιπτώσεις στον τομέα των μεταφορών.

Συστήματα τιμολόγησης του άνθρακα αποτελούν μια προσπάθεια ορισμένων καναδικών επαρχιών να συμμετάσχουν σε ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών που διοργανώνεται από τη West Climate Initiative (WCI) και περιλαμβάνει την πολιτεία της Καλιφόρνιας (ΗΠΑ) και τις επαρχίες του Κεμπέκ, της Νέας Σκωτίας και της Βρετανικής Κολομβίας. Η συμμετοχή σε αυτό το σύστημα ποικίλλει χρονικά: το Οντάριο, για παράδειγμα, έγινε μέλος αυτής της πρωτοβουλίας σχεδόν από την έναρξή του, αλλά απέσυρε την ιδιότητα του μέλους στα τέλη του 2018 με την εκλογή της νέας επαρχιακής κυβέρνησής του, η οποία πρότεινε τον νόμο περί ακύρωσης του ανώτατου ορίου (Legislative Assembly of Ontario, 2018).

Το Transportation 2030 είναι μια πολιτική του αντίστοιχου υπουργείου, με στόχο να μετατρέψει τον τομέα μεταφορών του Καναδά σε έναν πιο αποτελεσματικό, ασφαλέστερο και πιο πράσινο τομέα έως το 2030. Ο προϋπολογισμός της πολιτικής για το 2017 ήταν κάτι παραπάνω από μισό δισεκατομμύριο δολάρια επιμερισμένα σε: 120 εκατομμύρια δολάρια για ηλεκτρικά οχήματα και επενδύσεις σε εναλλακτικά καύσιμα, 56.9 εκατομμύρια δολάρια για την ανάπτυξη κανονισμών

για τα αέρια του θερμοκηπίου και 229 εκατομμύρια δολάρια για την υποστήριξη του Προγράμματος Καινοτομίας Καθαρής Ενέργειας και Καθαρών Μεταφορών (Transport Canada, 2020). Μία από αυτές τις πρωτοβουλίες είναι η δημιουργία ενός ταμείου έρευνας για τη στήριξη των σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και αεροπορικών μεταφορών, ώστε να επιτευχθεί η μετάβαση τους προς μια πιο φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία. Αυτό το ταμείο έρευνας συνεργάζεται με διάφορους δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στον ακαδημαϊκό χώρο, την κυβέρνηση, τις μεταφορές και άλλους συναφείς τομείς.

Ζήτηση

Ο Καναδάς είναι η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα παγκοσμίως όπου δύο από τις τρεις μεγαλύτερες μητροπολιτικές περιοχές του, το Τορόντο και το Μόντρεαλ, βρίσκονται στην ανατολική πλευρά, ενώ το Βανκούβερ βρίσκεται στη δυτική ακτή της χώρας (Krueger et al., 2020), με τις δύο ακτές χωριζόμενες από μια απόσταση 4.400 χιλιομέτρων οδικώς. Ως εκ τούτου, ο Καναδάς χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες ανάγκες μεταφοράς. Συγκεκριμένα, οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 5% του ΑΕΠ του και ο Καναδάς έχει ένα από τα μεγαλύτερα τομεακά κατά κεφαλήν ΑΕΠ μεταφορών (Trading Economics, 2020). Βασικά στατιστικά που αναφέρονται στις παρακάτω παραγράφους αντλούνται από την στατιστική υπηρεσία της χώρας (Statistics Canada, 2020).

Η χώρα έχει ένα ευρύ οδικό δίκτυο μήκους άνω των 1,300,000 χιλιομέτρων, εκ των οποίων τα 443,000 είναι ασφαλτοστρωμένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταφορική δραστηριότητα που σχετίζεται με τις οδικές μεταφορές αυξάνεται σε κάθε υποτομέα, με αποτέλεσμα οι εκπομπές από τις οδικές μεταφορές όχι μόνο να κυριαρχούν στον ευρύτερο τομέα των μεταφορών, αλλά και να αυξάνονται σταθερά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6. Την περίοδο 2000-2013 τα επιβατοχιλιόμετρα που διένυαν τα αυτοκίνητα αυξήθηκαν κατά 13% (OECD, 2020), ενώ οι πωλήσεις βενζίνης αυξήθηκαν κατά 10% τα τελευταία δέκα χρόνια (Statistics Canada, 2020), αν και η απόδοση των κινητήρων των αυτοκινήτων βελτιώνεται συνεχώς (Weiss et al., 2020). Η αύξηση των επιβατικών μεταφορών είναι επίσης ορατή στον κλάδο των λεωφορείων, τα έσοδα του οποίου είχαν αυξηθεί από 8.6 δισεκατομμύρια δολάρια το 2005 σε 20.3 το 2017. Παρόμοια φαινόμενα παρατηρούνται και στις εμπορευματικές μεταφορές, όπου η δραστηριότητα των φορτηγών είχε διπλασιαστεί μεταξύ του 2000 και του 2014, από 84.7 σε 166.6 δισεκατομμύρια τονοχιλιόμετρα εγχώριας δραστηριότητας, με αυξητική τάση. Επιπλέον, η χωρητικότητα του φορτίου που μεταφέρθηκε την ίδια περίοδο είχε σχεδόν τριπλασιαστεί.

Η μεγάλη έκταση της καναδικής γης είχε επίσης ως αποτέλεσμα ένα εκτενές σιδηροδρομικό δίκτυο, το μήκος του οποίου υπερβαίνει τα 60,000 χιλιόμετρα. Σε σύγκριση με τον υποτομέα των οδικών μεταφορών, η δραστηριότητα των σιδηροδρομικών μεταφορών παρουσιάζει μικρότερη αύξηση: το σύνολο των επιβατηγών οχηματοχιλιομέτρων παρουσίασε αύξηση από 58 δισεκατομμύρια το 1990 σε 71 δισεκατομμύρια το 2017, με σημαντικές διακυμάνσεις κατά την περίοδο αυτή. Επιπλέον, η εγχώρια εμπορευματική δραστηριότητα αυξήθηκε από 207 δισεκατομμύρια τόνους το 2000 σε 282.2 το 2015 (Krueger et al., 2020). Από την άλλη, η συνολική εμπορευματική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου του διεθνούς εμπορίου) του σιδηροδρομικού τομέα παρουσίασε παρόμοιο ρυθμό αύξησης από 534 δισεκατομμύρια τονοχιλιόμετρα σε 761 δισεκατομμύρια τονοχιλιόμετρα. Αυτή η αύξηση αντικατοπτρίζεται επίσης στα έσοδα των σιδηροδρομικών εταιρειών που σχεδόν διπλασιάστηκαν σε αυτή την περίοδο, φθάνοντας τα 13.52 δισεκατομμύρια δολάρια το 2014. Αν και η σιδηροδρομική δραστηριότητα είναι αυξημένη, η συνολική κατανάλωση καυσίμου (πετρέλαιο ντίζελ) παρέμεινε σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος.

Ένα άλλο σημαντικό, αλλά λιγότερο εκτεταμένο, μέσο μεταφοράς στον Καναδά είναι οι πλωτές μεταφορές, χωρισμένες σε τρεις κατηγορίες: τις εσωτερικές πλωτές οδούς, που αναφέρονται σε ποτάμια, τις Μεγάλες Λίμνες, αναφερόμενες σε βάρκες που διασχίζουν αυτές τις λίμνες, και τις θαλάσσιες μεταφορές. Το μήκος των εσωτερικών πλωτών οδών και του θαλάσσιου δικτύου των Μεγάλων Λιμνών είναι 2,825 και 2,662 χιλιόμετρα αντίστοιχα. Επιπλέον, η χώρα διαθέτει 557 λιμενικές εγκαταστάσεις. Όσον αφορά τις εσωτερικές πλωτές οδούς και τις Μεγάλες Λίμνες, η εγχώρια δραστηριότητα παρουσίασε διακυμάνσεις κατά την περίοδο 2000-2011, αλλά χωρίς όμως σαφή ανοδική ή πτωτική τάση, με ετήσιο μέσο όρο 4,7 και 23,83 δισεκατομμύρια τόνους αντίστοιχα. Η εγχώρια ακτοπλοΐα αυξήθηκε σημαντικά κατά την ίδια περίοδο. Από την άλλη, το μεγαλύτερο μέρος του θαλάσσιου εμπορίου σχετίζεται με το διεθνές εμπόριο. Συγκεκριμένα το 2011, ο όγκος που διακινήθηκε διεθνώς αντιπροσώπευε το 73% της συνολικής δραστηριότητας θαλάσσιων μεταφορών. Ένας άλλος σημαντικός τομέας των θαλάσσιων μεταφορών είναι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Τα κύρια λιμάνια στον Καναδά είναι το Βανκούβερ, το Μόντρεαλ και το Χάλιφαξ. Από το 2005 έως το 2011, η συνολική τους δραστηριότητα αυξήθηκε κατά σχεδόν 400,000 TEUs. Το 2011, ο αριθμός των TEUs που διεκπεραιώθηκαν σε αυτά τα τρία λιμάνια ήταν 2,500,000, 1,220,000 και 370,000 αντίστοιχα, με το λιμάνι του Χάλιφαξ να έχει πτωτική τάση. Ένα άλλο γεγονός που καταδεικνύει τον αυξημένο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται στα καναδικά λιμάνια είναι η ταχεία ανάπτυξη

του λιμανιού Prince Rupert στη Βρετανική Κολομβία, το οποίο άρχισε να λειτουργεί στα τέλη του 2007 και μέχρι το 2011 ξεπέρασε ήδη το λιμάνι του Χάλιφαξ, διακινώντας 400,000 TEUs. Ταυτόχρονα, το 2018 μεγάλα δρομολόγια πλοίων στον Καναδά μετέφεραν 53 εκατομμύρια επιβάτες και 21 εκατομμύρια αυτοκίνητα.

Ο Καναδάς διαθέτει περίπου 1,200 αεροδρόμια, που εξυπηρετούν επιβατικές ή/και εμπορευματικές πτήσεις. Τα τέσσερα πιο πολυσύχναστα αεροδρόμια του Καναδά βρίσκονται στο Τορόντο, το Βανκούβερ, το Μόντρεαλ και το Κάλγκαρι, με το Μόντρεαλ να έχει δύο αεροδρόμια που διαχειρίζονται εμπορευματικές πτήσεις. Την περίοδο 2008-2018 η επιβατική δραστηριότητα αυξήθηκε σημαντικά από 109 εκατομμύρια σε 159 εκατομμύρια επιβάτες. Στην πραγματικότητα, οι επιβάτες εσωτερικού αυξήθηκαν κατά 23 εκατομμύρια, οι διασυνοριακοί επιβάτες μεταξύ Καναδά και ΗΠΑ κατά 10 εκατομμύρια, ενώ η υπόλοιπη αύξηση σχετίζεται με άλλες διεθνείς δραστηριότητες. Αυτή η ραγδαία αύξηση αντικατοπτρίζεται επίσης στη συνολική δραστηριότητα, η οποία αυξήθηκε κατά σχεδόν 20% σε μόλις δύο χρόνια (2015-2017). Παρόμοια ανοδική τάση παρατηρείται και στις αεροπορικές εμπορευματικές μεταφορές. Το 2008 διακινήθηκαν συνολικά 972 εκατομμύρια τόνοι φορτίου, ενώ το 2018 ο αριθμός αυτός έφτασε τους 1,434 δισεκατομμύρια τόνους. Το εγχώριο φορτίο αυξήθηκε κατά 200 εκατομμύρια τόνους, το διεθνές φορτίο εξαιρουμένου του διασυνοριακού εμπορίου κατά 275 εκατομμύρια και οι διασυνοριακές εμπορευματικές μεταφορές μειώθηκαν ελαφρώς. Αυτό αντικατοπτρίζεται στο σύνολο των διακινούμενων τονοχιλιομέτρων, τα οποία αυξήθηκαν κατά 38% κατά την περίοδο 2015-2017. Όπως αναμενόταν, η αύξηση της αεροπορικής μεταφορικής δραστηριότητας αντανακλάται στην κατανάλωση καυσίμων των αερομεταφορών, η οποία το 2017 είχε αυξηθεί κατά 14% σε σύγκριση με το 2012. Συγκεκριμένα, το 2012 το συνολικό καύσιμο που καταναλώθηκε ήταν 6,6 δισεκατομμύρια λίτρα και το 2017 έφτασε τα 7,55 δισεκατομμύρια λίτρα.

Η ζήτηση δείχνει ότι ο Καναδάς έχει έναν ταχέως αναπτυσσόμενο τομέα μεταφορών, το ΑΕΠ του οποίου αυξήθηκε από 58 δισεκατομμύρια δολάρια το 2000 σε 90 δισεκατομμύρια δολάρια το 2019 (Trading Economics, 2020). Αυτή η συνεχής ανάπτυξη των μεταφορών έχει διπλό αντίκτυπο στη μετάβασή του τομέα σε έναν βιώσιμο τομέα. Ένας αναπτυσσόμενος τομέας είναι ικανός να επενδύει σε νέες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με χαμηλότερο βαθμό εξάρτησης από τις κρατικές επιδοτήσεις (Bigerna et al., 2019), δεδομένου ότι οι επιχειρήσεις αναπτύσσονται και είναι σε θέση να επενδύουν περισσότερο. Από την άλλη,

ένας αναπτυσσόμενος τομέας παρουσιάζει υψηλή ενεργειακή ζήτηση και, ως εκ τούτου, πρέπει να εφαρμοστούν αυστηρότερες πολιτικές προκειμένου να αποφευχθεί ο εγκλωβισμός στον άνθρακα (Castro Verdezoto et al., 2019). Σημαντικό επίσης κρίνεται το γεγονός ότι πέρα από την αύξηση του ΑΕΠ του τομέα από το 2000 έως το 2019, το οποίο εν γένει είναι αναμενόμενο δεδομένης της διεθνούς συνολικής ανάπτυξης, τα επιμέρους στατιστικά κάθε τομέα επίσης βελτιώθηκαν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα επιπέδου μιας δεκαετίας συμπεριλαμβανομένης της οικονομικής κρίσης του 2008-2009. Αυτό καταδεικνύει ότι τα οικονομικά δεδομένα μετά κρίσης επανήλθαν χωρίς αυτό κατ' ανάγκη να μεταφράζεται σε βελτίωση ως προς την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Γνώση, διαδικασίες μάθησης και τεχνολογίες

Ο τομέας των μεταφορών αποτελείται από πληθώρα υποτομέων με ορισμένους από αυτούς να χαρακτηρίζονται από ποικιλία χρησιμοποιούμενων καυσίμων και άλλους να εξαρτώνται από μόνο ένα καύσιμο. Όσον αφορά τη μεταφορά επιβατών, υπάρχουν διάφοροι τύποι οχημάτων που χρησιμοποιούνται. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι τα οχήματα βενζίνης, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 94% των νέων ταξινομημένων επιβατικών αυτοκινήτων μεταξύ 2014 και 2018. Επιπλέον, σχεδόν το 4% των αυτοκινήτων που ταξινομήθηκαν την ίδια περίοδο χρησιμοποιούν ντίζελ ως πηγή ενέργειας. Το υπόλοιπο 2% των αυτοκινήτων αποτελούνταν από υβριδικά, plug-in υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων σημείωσαν σημαντική αύξηση τελευταία. Το 2018, τα πρόσφατα ταξινομημένα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έφτασαν το 3.5% των συνολικών αυτοκινήτων, συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών και των plug-in υβριδικών αυτοκινήτων (Statistics Canada, 2020). Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η απόδοση καυσίμου των αυτοκινήτων ανάλογα με τον εξοπλισμό και το μέγεθος. Ο Καναδάς θεωρείται ως η λιγότερο αποδοτική χώρα στον κόσμο όσον αφορά τα επιβατικά οχήματα, καθώς διαθέτει τα μεγαλύτερα και δεύτερα βαρύτερα αυτοκίνητα παγκοσμίως. Οι μέσες εκπομπές ενός καναδικού ελαφρού οχήματος (LDV) ανά χιλιόμετρο υπερβαίνουν τα 200 γραμμάρια CO2 (Shaffer, 2020), γεγονός που καταδεικνύει τις μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης, όπως συμβαίνει αντίστοιχα και σε γειτονικές χώρες όπως οι ΗΠΑ (Joost, 2012). Από την άλλη, οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές χαρακτηρίζονται από αποκλειστική κατανάλωση πετρελαίου ντίζελ για φορτηγά που διακινούν φορτία (Canadian Energy Research Institute, 2020). Τέλος, όσον αφορά τις οδικές μεταφορές, τα βιοκαύσιμα αναμειγνύονται με το ντίζελ και τη βενζίνη προκειμένου να

μειωθούν οι εκπομπές άνθρακα (Mondou et al., 2018). Ο ρυθμός ανάμειξης βιοντίζελ και αιθανόλης στο ντίζελ και τη βενζίνη αντίστοιχα ποικίλλει ανά επαρχία, σύμφωνα με τον ομοσπονδιακό κανονισμό. Το μέγιστο ποσοστό για την αιθανόλη είναι 8,5% και παρουσιάζεται στην επαρχία της Μανιτόμπα, ενώ το μέγιστο ποσοστό για το βιοντίζελ είναι 4% που εμφανίζεται στις επαρχίες του Οντάριο και της Βρετανικής Κολομβίας. Ωστόσο, υπάρχουν επαρχίες, όπως το Κεμπέκ, που δεν επιβάλλουν συγκεκριμένο ποσοστό (Global Agricultural Information Network, 2019).

Όσον αφορά τις σιδηροδρομικές μεταφορές, ο κύριος υποτομέας κατανάλωσης καυσίμων είναι οι εμπορευματικές μεταφορές, οι οποίες χρησιμοποιούν αποκλειστικά ντίζελ ως πηγή ενέργειας. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στα υπεραστικά επιβατικά τρένα. Η μόνη άλλη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται από τις σιδηροδρομικές μεταφορές είναι η ηλεκτρική ενέργεια, κυρίως στις αστικές συγκοινωνίες. Ενδεικτικά, το 2013, χρησιμοποιήθηκαν 93PJ ντίζελ για υπεραστικές μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων, ενώ καταναλώθηκαν μόνο 3PJ ηλεκτρικής ενέργειας για αστικές συγκοινωνίες κατά το ίδιο έτος (Statistics Canada, 2020). Στις αεροπορικές μεταφορές τα καύσιμα αεριωθουμένων κυριαρχούν σε αυτόν τον υποτομέα με ποσοστό χρήσης άνω του 99%. Τέλος, οι θαλάσσιες μεταφορές εξαρτώνται από δύο τύπους καυσίμων: μαζούτ (βαρύ/υπολειμματικό - μετά τη διύλιση) που αντιπροσωπεύει το 65% της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ το απόσταγμα (ντίζελ) μαζούτ το υπόλοιπο 35%. Σε αντίθεση με τις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, οι αεροπορικές και οι θαλάσσιες μεταφορές δεν χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα στο μείγμα καυσίμων τους, όπως συμβαίνει παγκοσμίως (IEA, 2019).

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά επιβατικά οχήματα, ορισμένες καναδικές επαρχίες (Οντάριο, Κεμπέκ και Βρετανική Κολομβία) έχουν δώσει επιδοτήσεις στους πολίτες προκειμένου να προωθήσουν την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Προς αυτή την κατεύθυνση, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση το 2019 νομοθέτησε την παροχή επιδοτήσεων (έως και 5.000 δολάρια) για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων (Thorne et al., 2019).

Ένας άλλος τομέας στον οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στον Καναδά είναι οι σιδηροδρομικές μεταφορές, στις οποίες κυριαρχεί η καύση ντίζελ, καθώς ο εξηλεκτρισμός των σιδηροδρομικών υπηρεσιών οδηγεί σε οικονομική αβεβαιότητα, ειδικά για μεγάλες αποστάσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών (Marin et al., 2010). Επιπλέον, η ηλεκτροκίνηση θεωρείται μελλοντική λύση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές με ηλεκτρικά φορτηγά (Liimatainen,

2019), καθώς και στις θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές με ηλεκτρικά σκάφη και αεροπλάνα (Reabroy et al., 2015; Han et al., 2019). Οι τεχνολογίες αυτές έχουν εξεταστεί κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο και δεν παρουσιάζουν σημαντικές εφαρμογές. Από την άλλη, η αυξημένη διείσδυση ηλεκτρικών αυτοκινήτων και τρένων, η οποία πραγματοποιείται ήδη σε άλλες χώρες, θα οδηγούσε σε σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω του μείγματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Καναδά, βασισμένο στην υδροηλεκτρική ενέργεια (όπως στη Νορβηγία, αν και σε χαμηλότερο ποσοστό) (Dolter et al., 2018), ειδικά σε επαρχίες όπως το Κεμπέκ με υψηλό μερίδιο παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Ως εκ τούτου, ο μόνος τομέας που έχει βιώσει μια έστω ήπια μετάβαση προς μια μειωμένη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στον Καναδά είναι οι οδικές μεταφορές, λόγω της υπαρκτής αλλά αργής διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι υπόλοιποι τομείς δεν έχουν επιδείξει αξιοσημείωτη τάση προς την εκμετάλλευση της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας του Καναδά.

Μια άλλη δράση που επηρεάζει είναι η αύξηση των βιοκαυσίμων στα μείγματα ντίζελ και βενζίνης, με την προώθηση προηγμένων βιοκαυσίμων (Mondou et al., 2018). Συγκεκριμένα, ο Καναδάς έχει τα μεγαλύτερα κατά κεφαλήν αποθέματα βιομάζας, καθώς αντιπροσωπεύουν το 7% της παγκόσμιας δυνητικής παραγωγής βιομάζας (Generation Energy Council, 2020). Επιπλέον, η χώρα χαρακτηρίζεται από σημαντική ερευνητική δραστηριότητα στην εκμετάλλευση του υδρογόνου, όσον αφορά την παραγωγή, αποθήκευση και χρήση του στον τομέα των μεταφορών (Marin et al., 2010; Lemieux et al., 2019; Ghandehariun et al., 2016; Haseli et al., 2018), ενώ φορείς επιδεικνύουν ενδιαφέρον για την τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου.

4.5 Συγκριτική Ανάλυση των δύο χωρών μέσω του συστήματος συστημικών σφαλμάτων

Ο τομέας των μεταφορών τόσο στη Νορβηγία όσο και στον Καναδά χαρακτηρίζεται από τη δεσπόζουσα θέση που κατέχει η χρήση ορυκτών καυσίμων σε όλους τους υποτομείς. Αυτό σημαίνει ότι ο τομέας αυτός αντιμετωπίζει ενδεχόμενα carbon lock-ins, σε αντιστοιχία με όσα είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και έχουν παρατηρηθεί και σε άλλους τομείς (Janipour et al., 2020; Bataille, et al., 2020), που σχετίζονται με τα ορυκτά καύσιμα και ειδικά με τα προϊόντα πετρελαίου όπως η βενζίνη και το ντίζελ. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του υψηλού κόστους κεφαλαίου (Bahn et al., 2013), με αποτέλεσμα η πλειονότητα των ενδιαφερόμενων μερών στον τομέα των μεταφορών (π.χ., από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων έως τους χρήστες αυτοκινήτων) να επιμείνουν στη χρήση

συμβατικών καυσίμων. Όπως σημειώνουν οι Klitkou et al. (2015), η υπάρχουσα οικονομία κλίμακας ορυκτών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών δύναται να οδηγήσει σε τεχνολογικό εγκλωβισμό. Ο κίνδυνος και στις δύο χώρες είναι υψηλός, λειτουργώντας ως σημαντικό εμπόδιο για τη μετάβαση σε χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σε αυτή την ενότητα, συγκρίνουμε το σύστημα μεταφορών δύο χωρών (Νορβηγία και Καναδάς), προκειμένου να εντοπίσουμε και να αναλύσουμε αυτά τα εμπόδια. Η ικανότητα των συστημάτων τους να ξεπεράσουν τα εν λόγω εμπόδια μελετάται μέσω του πλαισίου συστημικών σφαλμάτων (Woolthuis et al., 2005), εξετάζοντας τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε συστήματος καινοτομίας.

Τα βασικά αποτελέσματα της συγκριτικής ανάλυσης των συστημικών σφαλμάτων όπως αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Βασικά αποτελέσματα από τη συγκριτική ανάλυση με βάση τα μπλοκ SF

Μπλοκ SF	Νορβηγία	Καναδάς
Θεσμοί	• Η ισχυρή πολιτική κινήτρων έχει οδηγήσει σε υψηλό μερίδιο ηλεκτρικών οχημάτων, ωστόσο οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παραμένουν υψηλές	• Ασυνέπειες πολιτικής λόγω μη συμμόρφωσης των επαρχιών με την ομοσπονδιακή νομοθεσία • Δισταγμός για νομοθέτηση κατά των ορυκτών καυσίμων • Νομοθεσία για τα ηλεκτρικά οχήματα με αργούς ρυθμούς
Αλληλεπιδράσεις	• Και στις δύο χώρες, οι εταιρείες ορυκτών καυσίμων δημιουργούν ισχυρούς δεσμούς μέσω διαδικασιών άσκησης πίεσης, οδηγώντας σε φαινόμενα carbon lock-ins	
		• Το φαινόμενο είναι πιο έντονο στις πλούσιες σε πετρέλαιο δυτικές επαρχίες
Δυνατότητες	• Η φθηνή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει μια ευκαιρία για τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, ανεξάρτητα από άλλους τύπους κινήτρων	• Δισταγμοί εξαιτίας των τιμών (κόστος αγοράς, χρήσης) για τα ηλεκτρικά οχήματα σε σύγκριση με τη βενζίνη
Υποδομές	• Παρά τις δεσμεύσεις, η παραγωγή βιοκαυσίμων ήταν περιορισμένη • Η διάδοση της καινοτομίας (spillover) στην πράσινη ναυτιλία δείχνει ότι η καινοτομία πέραν των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να αποφύγει τις εξεταζόμενες αποτυχίες • Το δίκτυο ταχείας φόρτισης εξαρτάται από πρωτοβουλίες τοπικών υπηρεσιών κοινής ωφέλειας	• Ο εξηλεκτρισμός των σιδηροδρόμων είναι πολύ ακριβός λόγω του μήκους του δικτύου

<u>Θεσμοί</u>

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα σφάλματα που συνδέονται με αυτούς τους θεσμούς χαρακτηρίζονται ως σκληρά και ήπια θεσμικά σφάλματα αντίστοιχα (Johnson and Gregersen, 1995; Carlsson and Jacobsson, 1997).

Με μια πρώτη ματιά, ο Καναδάς φαίνεται πιο επιρρεπής σε θεσμικά σφάλματα. Εμβαθύνοντας περαιτέρω στο επίσημο θεσμικό πλαίσιο, και οι δύο χώρες έχουν αναλάβει νομοθετική δράση για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, κανονισμών σχετικά με τον τομέα των μεταφορών και τις εκπομπές του. Για παράδειγμα, η Νορβηγία ήταν μία από τις πρώτες χώρες στον κόσμο που θέσπισε φόρο CO2 (1991), και παρά το γεγονός ότι δεν είναι κράτος μέλος της ΕΕ, συμμετέχει στο ETS και ESR της ΕΕ. Ο Καναδάς έχει νομοθετήσει το δικό του σύστημα τιμολόγησης του άνθρακα, το οποίο δεν εφαρμόζεται ακόμη σε όλες τις επαρχίες. Δεδομένου ότι το καναδικό σύστημα τιμολόγησης του άνθρακα διαμορφώνεται και ρυθμίζεται αποκλειστικά από την καναδική ομοσπονδιακή κυβέρνηση, μια αλλαγή κυβερνητικών απόψεων σε περιβαλλοντικά ζητήματα μπορεί εύκολα να το επηρεάσει. Όσον αφορά τη Νορβηγία, παρόλο που εφαρμόζεται σε εθνικό επίπεδο, στον τομέα των μεταφορών, το EU-ETS για την ώρα καλύπτει μόνο τις αερομεταφορές, ενώ ο νορβηγικός φόρος CO2, που καθορίζεται από τη νορβηγική κυβέρνηση και το κοινοβούλιο, επηρεάζει τις αεροπορικές, οδικές και θαλάσσιες μεταφορές (εκτός από την εγχώρια αλιεία, η οποία έχει ένα προοδευτικό καθεστώς επιστροφής με βάση την ενεργειακή απόδοση). Ως εκ τούτου, η Νορβηγία είναι επίσης επιρρεπής σε μια παρόμοια αλλαγή στην πολιτική βούληση. Το υπουργικό συμβούλιο έχει σηματοδοτήσει μια σταδιακή αύξηση του φόρου CO2. Επίσης, ορισμένοι άλλοι φόροι και τέλη ρυθμίζουν τις μεταφορές στη Νορβηγία, όπως τα τέλη χρήσης του οδικού δικτύου, οι φόροι αγοράς οχημάτων και οι δρόμοι με διόδια. Όσον αφορά τη στοχευμένη νομοθεσία, οι στρατηγικές ηλεκτροδότησης είναι ένας άλλος κρίσιμος θεσμικός παράγοντας. Από τη δεκαετία του 1990, η Νορβηγία είναι πρωτοπόρος όσον αφορά τους κανονισμούς για τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, γεγονός που οδήγησε σε σημαντικό μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στη νορβηγική αγορά καινούργιων αυτοκινήτων το 2019, με ποσοστό πωλήσεων περίπου 42%. Συγκριτικά, η νομοθεσία του Καναδά για τα EV ήταν αρκετά αργή, όπως αντικατοπτρίζεται επίσης στις χαμηλές πωλήσεις, καθώς τα πρόσφατα ταξινομημένα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούσαν μόλις το 3,5% των συνολικών πωλήσεων αυτοκινήτων στη χώρα. Ωστόσο, το γεγονός ότι και οι δύο χώρες παρουσιάζουν περιορισμένη πρόοδο στον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές, όπως παρατηρείται

στο υποκεφάλαιο 4.2, δείχνει ότι η πολιτική κινήτρων της Νορβηγίας είναι λιγότερο αποτελεσματική από το αναμενόμενο.

Σε σύγκριση με τη Νορβηγία, ο Καναδάς παρουσιάζει σημαντικότερα ποσοστά καύση ορυκτών καυσίμων στις επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το καναδικό σιδηροδρομικό σύστημα, το οποίο τροφοδοτείται κυρίως από ντίζελ, ενώ το νορβηγικό σιδηροδρομικό δίκτυο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλεκτρική ενέργεια. Από θεσμική άποψη, αυτή η επιμονή συνδέεται εν μέρει με τον δισταγμό της καναδικής ομοσπονδιακής κυβέρνησης να νομοθετήσει για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, ενώ τα εγχώρια αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου παραμένουν άφθονα, με το αυξημένο κόστος και άλλες τεχνολογικές προκλήσεις να συνεισφέρουν σε αυτή την εικόνα. Λαμβάνοντας υπόψιν τις εν λόγω προκλήσεις, ένα πιθανό θεσμικό σφάλμα λόγω ενδεχόμενης απροθυμίας επενδύσεων σε υποδομές που υποστηρίζουν πράσινες τεχνολογίες ενέχει υπαρκτό (ιδίως στον Καναδά) αλλά όχι μεγάλο κίνδυνο στις δύο χώρες: και οι δύο χώρες έχουν ήδη προτείνει σημαντικά επενδυτικά σχέδια για τον εκσυγχρονισμό και τη φιλικότητα των συστημάτων μεταφορών τους προς το περιβάλλον.

Εκτός από αυτές τις προκλήσεις, ο Καναδάς είναι επίσης επιρρεπής σε μια άλλη πιθανή θεσμική αποτυχία: η χώρα είναι διαιρεμένη σε επαρχίες που έχουν τη δική τους κυβέρνηση και νομοθεσία. Οι τοπικές κυβερνήσεις ενδέχεται να μην συμμορφώνονται πάντα με τη νομοθεσία της ομοσπονδιακής κυβέρνησης, επιβραδύνοντας έτσι τη μετάβαση του τομέα των μεταφορών (πχ περίπτωση της περιφερειακής κυβέρνησης του Οντάριο που συζητήθηκε στο SIS του Καναδά).

Αλληλεπιδράσεις

Τα σφάλματα του συστήματος αλληλεπίδρασης προκαλούνται είτε από ισχυρές εξαρτήσεις που μπορούν να υπονομεύσουν σε μεγάλο βαθμό τις καινοτόμες τεχνολογίες, είτε από αδύναμες συνδέσεις που δεν προάγουν την καινοτομία (Weber and Rohracher, 2012). Αυτές οι αλληλεπιδράσεις που οδηγούν σε συστημικά σφάλματα ονομάζονται ισχυρές και αδύναμες αλληλεπιδράσεις δικτύου (Carlsson και Jacobsson, 1997), όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 3.

Με μια πρώτη ματιά, το σύστημα και των δύο χωρών αποτελείται από μια ποικιλία δικτύων και φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορικών εταιρειών, των ρυθμιστικών αρχών, των κυβερνητικών φορέων και των ενώσεων που λειτουργούν ως ενώσεις φορέων. Ωστόσο,

σημαντική διαφορά αποτελεί το ότι Νορβηγία χαρακτηρίζεται από την πληθώρα κρατικών εταιρειών που συμμετέχουν σχεδόν σε κάθε υποτομέα του συστήματος μεταφορών (Bane NOR, 2020), ενώ από την άλλη, ο τομέας μεταφορών του Καναδά κυριαρχείται από ιδιωτικές εταιρείες, που δραστηριοποιούνται σε κάθε υποτομέα του συστήματος καινοτομίας του. Η ύπαρξη κυβερνητικού ελέγχου μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερο συντονισμό (Shaw et al., 2019; Lei et al., 2018) των πολιτικών μετάβασης, κάτι που είναι σημαντικό για την αποφυγή του τεχνολογικού εγκλωβισμού. Ωστόσο, ο πλουραλισμός των ιδιωτικών ενδιαφερόμενων μερών μπορεί επίσης να έχει θετικό αντίκτυπο προς τη μετάβαση, δεδομένου ότι επιδιώκουν την ανταγωνιστικότητα και μεγαλύτερα μερίδια αγοράς (Mah, 2020), αλλά και επειδή οι επιδόσεις των ιδιωτικών επιχειρήσεων εξαρτώνται και από την εταιρική κοινωνική ευθύνη τους όσον αφορά τις περιβαλλοντικές στρατηγικές (Hadj, 2020). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, στον Καναδά, υπάρχουν περισσότερα ενδιαφερόμενα μέρη σε κάθε υποτομέα, εν μέρει λόγω του ότι είναι μία από τις μεγαλύτερες και μη ομοιογενείς χώρες στον κόσμο με σημαντικές περιφερειακές οικονομικές και συστημικές διαφορές. Επιπλέον, σε σύγκριση με τη Νορβηγία, ο Καναδάς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια αλυσίδα αξίας των μεταφορών, με πολλούς κατασκευαστές οχημάτων να δραστηριοποιούνται στη χώρα. Αυτές οι εταιρείες δεν είναι απαραίτητα καναδικές, όπως είδαμε στο αντίστοιχο SIS. Πολλές από αυτές (ειδικά όσον αφορά τον υποτομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας) έχουν την έδρα τους σε άλλες χώρες. Με την αυτοκινητοβιομηχανία να ενεργεί σε παγκόσμια κλίμακα, η μετάβαση του καναδικού τομέα μεταφορών θα εξαρτηθεί και από τις τάσεις της διεθνούς αγοράς. Το ίδιο δίδαγμα ισχύει και για τη Νορβηγία, αν και η Νορβηγία δεν διαθέτει ισχυρή αυτοκινητοβιομηχανία, εκτός από την προμήθεια ανταλλακτικών σε κατασκευαστές αυτοκινήτων στο εξωτερικό.

Μια άλλη ομοιότητα των χωρών που εξετάστηκαν είναι το γεγονός ότι και οι δύο είναι παραγωγοί ορυκτών καυσίμων με σημαντική σχετική βιομηχανία, στην οποία δραστηριοποιούνται τοπικές και διεθνείς εταιρείες. Εκτός από την ισχυρή παρουσία νορβηγικών εταιρειών, η χώρα χαρακτηρίζεται επίσης από τη λειτουργία διαφόρων πολυεθνικών εταιρειών όπως η Shell και η BP. Το τοπίο παραγωγής πετρελαίου στον Καναδά είναι παρόμοιο, με τη μόνη διαφορά ότι οι καναδικές επιχειρήσεις έχουν μικρότερη παρουσία και οι κύριοι ενδιαφερόμενοι που εδρεύουν εκτός Καναδά είναι κυρίως αμερικανικές εταιρείες, όπως η Chevron και η Exxon Mobil. Αν και οι πετρελαϊκές εταιρείες δεν αποτελούν άμεσο συστατικό του συστήματος που αναλύεται, οι αλληλεπιδράσεις τους με αυτό είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η κύρια πηγή ενέργειας στον τομέα των μεταφορών είναι τα προϊόντα

πετρελαίου όπως η βενζίνη και το ντίζελ, ειδικά στην περίπτωση του Καναδά και των πλούσιων σε πετρέλαιο δυτικών επαρχιών. Η λειτουργία τους θεωρείται σημαντική, καθώς οι πετρελαϊκές εταιρείες και στις δύο χώρες συνήθως δημιουργούν ισχυρά λόμπι προκειμένου να διατηρήσουν τα υψηλά έσοδά τους (Grasso, 2020), γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε εγκλωβισμούς άνθρακα και σημαντικά σφάλματα αλληλεπίδρασης, λειτουργώντας ως μορφή πίεσης από τα σύνορα του συστήματος.

Δυνατότητες

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε συστημικά σφάλματα είναι η αδυναμία του συστήματος, και ιδιαίτερα η απροθυμία των επιχειρήσεων του συστήματος που εξετάζεται να προσαρμοστούν στα νέα τεχνολογικά πρότυπα, σε αντίθεση με τις τοπικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στη Νορβηγία, οι οποίες ανέλαβαν πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη υποδομής ταχείας φόρτισης, όπως αναλύθηκε στο SIS της Νορβηγίας. Η μετάβαση στις μεταφορές χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από την ανάπτυξη των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον τομέα, δεδομένου ότι απαιτούνται οικονομικοί πόροι, η ικανότητα μάθησης και η ευελιξία. Επιπλέον, η μετάβαση του τομέα μεταφορών απαιτεί ιδίως την προθυμία των ανθρώπων να συμβάλουν στη δράση για το κλίμα, δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται αφορά τη μεταφορά επιβατών. Αυτό συνεπάγεται σημαντικές αλλαγές συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, παρά την παροχή επιδοτήσεων, πολλοί άνθρωποι αποφεύγουν να αγοράσουν ένα ηλεκτρικό όχημα, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένουν ακριβότερα από τα συμβατικά (Sheldon and Dua, 2019) και η τιμή αποτελεί σημαντική πτυχή για τους πολίτες όσον αφορά την επιλογή καυσίμων (Andersson et al., 2020). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή της βενζίνης στον Καναδά είναι σχεδόν 50% χαμηλότερη από την τιμή της στη Νορβηγία (Global Petrol Prices, 2020), οι Καναδοί είναι πιο διστακτικοί όσον αφορά την αγορά ενός EV, καθώς εξακολουθούν να έχουν πρόσβαση σε σχετικά φθηνά καύσιμα. Ομοίως, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας της Νορβηγίας είναι σημαντικά χαμηλότερες από τον μέσο όρο της ΕΕ, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα ακόμη πιο ελκυστικά από οικονομική άποψη για τους Νορβηγούς, καθώς μπορεί να είναι φθηνότερα στη χρήση, εκτός από το ότι είναι φθηνότερα λόγω των μεγάλων επιδοτήσεων. Αυτή η προτίμηση προς φθηνότερα ορυκτά καύσιμα αντικατοπτρίζεται επίσης στην αυτοκινητοβιομηχανία του Καναδά. Αν και ο Καναδάς είναι ένας από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές αυτοκινήτων παγκοσμίως, αντιπροσωπεύει μόνο το 0.4% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Martine et al, 2020). Ένα

παρόμοιο πρόβλημα επηρεάζει επίσης την αγορά οχημάτων υδρογόνου, δεδομένου ότι παραδοσιακά ήταν ακριβότερα από τα κανονικά αυτοκίνητα (Bento, 2010).

Όσον αφορά τη μεταφορά επιβατών μέσω σιδηροδρόμου, ή πλωτά και εναέρια μέσα, οι καθαρές επιλογές για τους επιβάτες είναι περιορισμένες, αν και υπάρχει μια πρόσφατη τάση προς τον εξηλεκτρισμό των οχηματαγωγών πλοίων στη Νορβηγία. Η συντριπτική πλειονότητα των επιβατικών αεροπλάνων παγκοσμίως καίει κηροζίνη, με τους επιβάτες να μην είναι ακόμη σε θέση να επιλέξουν μια σημαντικά πιο «πράσινη» επιλογή αερομεταφοράς. Ωστόσο, είναι σε θέση να επιλέξουν μεταφορικές εταιρείες που επιδεικνύουν μια πιο φιλική προς το περιβάλλον πολιτική, εάν το κόστος παραμείνει σε παρόμοιο επίπεδο. Από την άλλη, οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον βιομηχανικό τομέα μπορούν να απαιτήσουν από τις εταιρείες μεταφοράς φορτίων να μεταφέρουν τα προϊόντα τους με πιο «πράσινους» τρόπους: σύμφωνα με τους Touratier-Muller et al. (2019), οι κατασκευαστές είναι συνήθως αυτοί που αναγκάζουν τις εταιρείες να λαμβάνουν περιβαλλοντικά μέτρα για τη μεταφορά των προϊόντων τους.

Υποδομές

Τα σφάλματα στις υποδομές σχετίζονται με δύο διαφορετικούς τύπους υποδομών (Johnson et al., 1998). Η πρώτη κατηγορία εξετάζει εξωτερικούς παράγοντες που σχετίζονται με τις επικοινωνίες και τις ενεργειακές υποδομές. Η Νορβηγία και ο Καναδάς είναι και οι δύο πολύ ανεπτυγμένες χώρες με υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ και τα δίκτυα επικοινωνίας τους είναι ικανά να υποστηρίξουν τις λειτουργικές απαιτήσεις του τομέα των μεταφορών. Οι ενεργειακές υποδομές τους είναι επίσης εκσυγχρονισμένες και ικανές να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του τομέα, ωστόσο η διαθεσιμότητα και η πρόσβαση σε ταχυφορτιστές εξακολουθεί να αποτελεί δυνητικό σημείο σφαλμάτων και στα δύο συστήματα. Ωστόσο, αν και θεωρείται συνιστώσα εξωτερικών υποδομών, το ενεργειακό δίκτυο έχει μεγαλύτερη σημασία όσον αφορά το σύστημα μεταφορών και ιδιαίτερα την περαιτέρω διάχυση της ηλεκτροκίνησης. Ο βαθμός συμβολής της μετάβασης σε υψηλότερο ποσοστό ηλεκτροκίνησης εξαρτάται από το εάν το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από υψηλή διείσδυση ΑΠΕ. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Νορβηγίας και του Καναδά βασίζεται κυρίως στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Ως εκ τούτου, ο εξηλεκτρισμός των συστημάτων μεταφοράς τους αποτελεί ένα πρόσθετο κίνητρο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο δεύτερος τύπος σφαλμάτων υποδομών επικεντρώνεται σε εσωτερικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της επιστημονικής και τεχνολογικής υποδομής που μπορεί να συμβάλει στη διάδοση των εξεταζόμενων τεχνολογιών στο σύστημα. Οι κύριες διαφορές στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη Νορβηγία και τον Καναδά σχετίζονται με τις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές. Όσον αφορά τις οδικές μεταφορές, η Νορβηγία χαρακτηρίζεται από ένα πολύ υψηλό (σε σύγκριση με άλλες χώρες) ποσοστό ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρία (Thronsen, 2020). Από την άλλη, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία στον Καναδά αντιπροσωπεύουν μόνο το 0.72%. Αυτή η αντίθεση καταδεικνύεται και στις σιδηροδρομικές μεταφορές. Στη Νορβηγία το 62% των σιδηροδρομικών γραμμών ηλεκτροδοτούνται, ενώ στον Καναδά οι ηλεκτρικές γραμμές χρησιμοποιούνται μόνο σε αστικές μεταφορές, όπως το μετρό, εν μέρει λόγω των μεγάλων αποστάσεων σε εθνικό επίπεδο. Όσον αφορά τους άλλους υποτομείς του συστήματος, και οι δύο χώρες εκμεταλλεύονται τις ίδιες τεχνολογίες. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η Νορβηγία πειραματίζεται με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και σε άλλους υποτομείς, με ορισμένα πιλοτικά προγράμματα που σχετίζονται με τις θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές να δείχνουν τις σημαντικές προσπάθειες της χώρας προς τον εξηλεκτρισμό όχι μόνο των οδικών αλλά και των θαλάσσιων μεταφορών και των εσωτερικών αερομεταφορών μικρών αποστάσεων.

Εκτός από το status quo των υφιστάμενων τεχνολογιών, η αποτυχία των υποδομών σχετίζεται επίσης με τις δυνατότητες περαιτέρω διάδοσης αυτών των τεχνολογιών και διείσδυσης νέων. Όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση, η Νορβηγία έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του Καναδά. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλεκτροκίνηση έχει ήδη επιτύχει σημαντική διείσδυση όσον αφορά τις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές σε σύγκριση με τον Καναδά. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι η Νορβηγία είναι σχεδόν 30 φορές μικρότερη από τον Καναδά και είναι επίσης πιο πυκνοκατοικημένη. Ως εκ τούτου, η επέκταση του εξηλεκτρισμού θεωρείται ευκολότερη στη Νορβηγία, ιδίως όσον αφορά εξοπλισμό (π.χ., σταθμούς φόρτισης) που είναι απαραίτητος για τα ηλεκτρικά οχήματα, παρόλο που το δίκτυο ταχείας φόρτισης εξαρτάται από πρωτοβουλίες τοπικών υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και όχι τόσο από κυβερνητικές προσπάθειες. Αυτό το πλεονέκτημα είναι επίσης κρίσιμο, όσον αφορά τις θαλάσσιες, αεροπορικές και ιδιαίτερα σιδηροδρομικές μεταφορές. Λόγω της τεράστιας χερσαίας έκτασής του, ο Καναδάς διαθέτει εκατοντάδες αεροδρόμια, θαλάσσιους λιμένες και ένα εκτεταμένο σιδηροδρομικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η αγορά και εγκατάσταση του

απαιτούμενου εξοπλισμού για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση θεωρείται πολύ ακριβότερη από ό,τι στη Νορβηγία.

Η ηλεκτρική ενέργεια όμως δεν είναι η μόνη εναλλακτική λύση για τα ορυκτά καύσιμα. Το μείγμα βιοκαυσίμων και η καύση υδρογόνου και αμμωνίας είναι τρεις άλλες λύσεις για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Όσον αφορά τις δύο πρώτες εναλλακτικές λύσεις, ο Καναδάς έχει επιδείξει μεγαλύτερη πρόοδο από τη Νορβηγία. Στον Καναδά δραστηριοποιείται μια ένωση υδρογόνου που συμβάλλει στη διάδοση της γνώσης σχετικά με το υδρογόνο σε πολλά ενδιαφερόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένων των φορέων του δικτύου μεταφορών. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από μεγάλα αποθέματα βιοκαυσίμων και είναι σημαντικός παραγωγός βιοντίζελ και αιθανόλης. Η ύπαρξη των απαιτούμενων αποθεμάτων και μια ανεπτυγμένη βιομηχανία βιοκαυσίμων σημαίνουν ότι η περαιτέρω διείσδυση των βιοκαυσίμων μπορεί να επιτευχθεί σχετικά εύκολα στη χώρα. Στη Νορβηγία, η παραγωγή βιοκαυσίμων ήταν μέχρι στιγμής σπάνια, παρά την πρόσβαση σε δυνητικές πρώτες ύλες, ωστόσο υπάρχουν σχέδια για σημαντική αύξηση της παραγωγής. Αν και η χρήση βιοκαυσίμων και υδρογόνου μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, συνδέονται επίσης με σημαντικά προβλήματα. Ειδικότερα, η περαιτέρω χρήση βιομάζας έχει δημιουργήσει αρκετές ανησυχίες σχετικά με την επισιτιστική ασφάλεια (Pries et al., 2016), καθώς χρήσιμες καλλιέργειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων αντί για προμήθειες τροφίμων, ενώ και η καταγραφή εκπομπών από τέτοιες τεχνολογίες παραμένει σημείο τριβών (DeCicco, 2011).

4.6 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση του τομέα μεταφορών της Νορβηγίας και του Καναδά υπό τις πιέσεις ισχυρών καθεστώτων ορυκτών καυσίμων από μια συστημική προσέγγιση, στα πρότυπα της μεθοδολογίας που εισήχθη στο Κεφάλαιο 3. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην εξέταση της διάδοσης καινοτόμων και βιώσιμων τεχνολογιών μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ φορέων και δικτύων. Βοηθά επίσης στον προσδιορισμό των εμποδίων στη διείσδυσή τους στα υπό μελέτη συστήματα. Η ανάλυσή μας δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά σε συγκεκριμένες τεχνολογίες όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, αλλά διερευνά ένα ευρύτερο φάσμα του τομέα των μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των οδικών, σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και αεροπορικών μεταφορών. Η σημασία των φορέων και δικτύων, των θεσμών, της ζήτησης και της γνώσης μελετάται μέσω του πλαισίου SIS, σε συνδυασμό με το πλαίσιο συστημικών σφαλμάτων, για να πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός

δυνητικά αναδυόμενων ή υφιστάμενων προκλήσεων για την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών και φιλικών προς το κλίμα πρακτικών.

Η αφθονία των ορυκτών καυσίμων και η οικονομική ευημερία και των δύο χωρών έχουν οδηγήσει σε μια συνεχώς αυξανόμενη δραστηριότητα του τομέα των μεταφορών, αντιπροσωπεύοντας περίπου το ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στις δύο χώρες, και λειτουργώντας ως μορφή πίεσης από τα σύνορα του συστήματος προς το σύστημα αυτό καθ' αυτό. Από θεσμική άποψη, και οι δύο χώρες έχουν αναλάβει δράση για τη νομοθέτηση μεταρρυθμίσεων προκειμένου να υποστηρίξουν τη μετάβαση προς έναν «πιο πράσινο» τομέα μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων όχι μόνο των οδικών, αλλά και των θαλάσσιων και αεροπορικών μεταφορών. Στην περίπτωση της Νορβηγίας υπήρξε σημαντική δραστηριότητα στον τομέα της ναυτιλίας, ο οποίος επιταχύνει τις εγχώριες ικανότητες καινοτομίας του με έμφαση σε τεχνολογίες αιχμής στη ναυτιλία. Ενώ η διάδοση των οδικών ηλεκτρικών οχημάτων εξακολουθεί να αποτελεί την κύρια καινοτομία στο SIS της Νορβηγίας, υπάρχουν ενδείξεις δευτερογενούς επίδρασης από τον εξηλεκτρισμό των οδικών μεταφορών στις θαλάσσιες μεταφορές, όπου οι νορβηγικές εταιρείες συμμετέχουν σε δραστηριότητες Ε&Α με τη στήριξη δημόσιων επενδύσεων. Η έλλειψη τέτοιων δραστηριοτήτων στην περίπτωση του Καναδά είναι εμφανής στις νομοθετικές δυσκαμψίες μεταξύ των ομοσπονδιακών και επαρχιακών κυβερνήσεων, όπως συνέβη με τη διαμάχη σχετικά με τον νόμο GHGPPA και την υποστήριξη που δόθηκε στην εγχώρια πετρελαϊκή βιομηχανία, η οποία αντιτάχθηκε σθεναρά σε αυτόν. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δικτύων και των φορέων και των δύο συστημάτων καινοτομίας είναι γενικά σταθερές και στη Νορβηγία οι παράγοντες ενσωματώνονται όλο και περισσότερο μέσω κοινών πρωτοβουλιών. Το επίπεδο των εκπομπών από τις μεταφορές ωστόσο δεν έχει μειωθεί δραστικά μέχρι στιγμής, παρά τις προσπάθειες και στις δύο χώρες, γεγονός που καταδεικνύει πιθανή έλλειψη ειλικρινούς προσπάθειας από τους φορείς του συστήματος για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Και οι δύο χώρες χαρακτηρίζονται από πληθώρα ισχυρών επιχειρήσεων σε κάθε υποδίκτυο. Οι περισσότεροι φορείς στον Καναδά είναι ιδιωτικοί, ενώ η εικόνα είναι πιο ανάμεικτη στη Νορβηγία, τόσο στις δημόσιες ιδιωτικές εταιρείες, όσο και στα δημόσια προγράμματα Ε&Α που απευθύνονται τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα, με διάφορες επιπτώσεις – τόσο θετικές όσο και αρνητικές – για τον συντονισμό της καινοτομίας και την ανταγωνιστικότητα. Ένα άλλο ενδεχόμενο εμπόδιο είναι η σημαντική δραστηριότητα των πετρελαϊκών εταιρειών και στις δύο χώρες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εγκλωβισμούς, με την πετρελαϊκή βιομηχανία να αντιπροσωπεύει σημαντικό

μέρος των εξαγωγών και των δύο χωρών. Εξαιρουμένης αυτής της πρόκλησης, τα συστήματα καινοτομίας του Καναδά και της Νορβηγίας δεν θεωρούνται ιδιαίτερα ευαίσθητα σε συστημικά σφάλματα που προκαλούνται από τις αλληλεπιδράσεις των φορέων του δικτύου.

Τα συστήματα και των δύο χωρών αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη ζήτηση, και κυρίως με παράγοντες που δεν εμπλέκονται άμεσα στο σύστημα, όπως η πετρελαϊκή βιομηχανία. Ως εκ τούτου, δεν επηρεάζονται τόσο εύκολα από τις αλλαγές εντός των συστημάτων. Όσον αφορά τους παράγοντες που συνδέονται στενότερα με τη ζήτηση συστημάτων, η Νορβηγία επιδεικνύει έναν πιο εύρωστο τομέα μεταφορών, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση για ηλεκτρικά οχήματα και ένα γενικά πιο ευνοϊκό τοπίο που υποστηρίζει τη μετάβαση. Αυτή η υψηλότερη ζήτηση για ηλεκτρικά οχήματα στη Νορβηγία προκύπτει κυρίως από τη νομοθεσία της χώρας, η οποία έχει προωθήσει την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων με πολλαπλά οικονομικά κίνητρα, όπως μεταξύ άλλων επιδοτήσεις, χαμηλότερες τιμές διοδίων. Οι εξωτερικοί παράγοντες υποδομής δεν θέτουν σημαντικές προκλήσεις για καμία από τις δύο χώρες, καθώς τόσο ο Καναδάς όσο και η Νορβηγία διαθέτουν ανεπτυγμένα δίκτυα επικοινωνιών και ενέργειας. Όσον αφορά τους εσωτερικούς παράγοντες, υπάρχουν ανησυχίες ότι οι υποδομές ταχυφορτιστών δεν αναπτύσσονται αρκετά γρήγορα, γεγονός που θα μπορούσε να αποτελέσει εμπόδιο διάχυσης σε περίπτωση που η ζήτηση αυξηθεί πέρα από τις δυνατότητες της υπάρχουσας υποδομής. Η Νορβηγία αντιμετωπίζει λιγότερες προκλήσεις στον τομέα της ηλεκτρικής κινητικότητας, δεδομένου του υφιστάμενου δικτύου, παρόλο που πρέπει να επεκταθεί, αλλά είναι λιγότερο ικανή για διάδοση υδρογόνου ή βιοκαυσίμων, αν και υπάρχουν σημαντικές πρωτοβουλίες, ιδίως στον τομέα των βιοκαυσίμων. Συγκριτικά, ο Καναδάς διαθέτει μεγαλύτερη τεχνική ικανότητα, γεγονός που φαίνεται από τις δυσκολίες της Νορβηγίας να αυξήσει το μερίδιο των βιοκαυσίμων που παράγεται στην εγχώρια αγορά παρά τους φιλόδοξους στόχους που έχουν τεθεί. Ως αποτέλεσμα, και οι δύο χώρες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν αστοχία του συστήματος υποδομών όσον αφορά τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων και τη μετάβαση του τομέα των μεταφορών τους, είτε με τη μορφή δυσκολιών σχετικά με τις υποδομές φόρτισης, είτε με τους περιορισμούς στη μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα.

Εν ολίγοις, ο Καναδάς αντιμετωπίζει περισσότερους κινδύνους σε σύγκριση με τη Νορβηγία, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε έναν πιο δύσκολο δρόμο προς την απανθρακοποίηση των μεταφορών. Το γεγονός αυτό πηγάζει κυρίως από τη ζήτηση και τη δυναμική των θεσμών του

Καναδά και, στη συνέχεια, από τις ανάγκες σε υποδομές. Ως εκ τούτου, η ανάγκη χάραξης πολιτικής είναι απαραίτητη στον Καναδά για την αντιστάθμιση αυτών των προκλήσεων και την αντιμετώπιση των υφιστάμενων και δυνητικά αναδυόμενων σημείων δημιουργίας σφαλμάτων, προκειμένου να ξεπεραστούν τα lock-ins συμβατικών τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών.

Από την άλλη, η στρατηγική βιώσιμων μεταφορών της Νορβηγίας έχει ιστορικά επικεντρωθεί σε πολιτικές κινήτρων για την ενίσχυση του μεριδίου των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό οδήγησε σε εκθετική αύξηση των μεριδίων τους, ενισχύοντας παράλληλα την ευαισθητοποίηση του κοινού. Ωστόσο, η περιορισμένη πρόοδος που έχει επιτευχθεί όσον αφορά τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις μεταφορές υποδηλώνει ότι, παρόλο που οι πολιτικές αυτές είναι χρήσιμες, η αξιολόγηση των επιπτώσεών τους είναι μεγαλύτερη από την πραγματική τους συνεισφορά μέχρι στιγμής, οδηγώντας σε μια ψευδώς καλλιεργημένη εικόνα ενός ηγετικού ρόλου στη μετάβαση, η οποία επιτρέπει ακόμη και στους παράγοντες να αγνοούν την πραγματική έλλειψη προόδου. Η κοινωνική αντίσταση σε αυτές τις πολιτικές οδήγησε σε μείωση των εν λόγω κινήτρων το 2017 κατά 50 %, χωρίς να επηρεαστεί η εκθετική τάση ανάπτυξης, γεγονός που καταδεικνύει ότι, στο πλαίσιο μιας αποτελεσματικής στρατηγικής για την απανθρακοποίηση, τα μέτρα αυτά πρέπει να διαδραματίσουν συμπληρωματικό ρόλο. Στην πραγματικότητα, οι φθηνές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή με βάση την υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να παράσχουν επαρκές κίνητρο για τα ηλεκτρικά οχήματα λόγω του περιορισμένου κόστους χρήσης, μια παρατήρηση που μπορεί να είναι χρήσιμη για καναδικές επαρχίες όπως το Κεμπέκ με σημαντικό δυναμικό υδροηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη, οι δευτερογενείς επιπτώσεις προς τη βιώσιμη ναυτιλία, καθώς και μικρότερες πρωτοβουλίες, όπως το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική αεροπορία, δείχνουν ότι οι παράγοντες ζητούν συνεκτικές στρατηγικές που δίνουν έμφαση στη χρηματοδότηση καινοτόμων τεχνολογιών και υποδομών. Τόσο ο Καναδάς όσο και η Νορβηγία πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτά τα αιτήματα από τα αντίστοιχα συστήματά τους. Η διοχέτευση επενδύσεων προς την τεχνολογική έρευνα και τη συνεργασία ιδιωτικού-δημόσιου τομέα μπορεί δυνητικά να περιορίσει την ισχύ των καθεστωτικών παραγόντων, όπως η πετρελαϊκή βιομηχανία, όπως φαίνεται από τη σχετική έλλειψη εκτεταμένων νομοθετικών πιέσεων στη Νορβηγία.

Συμπερασματικά. τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πολιτική κινήτρων της Νορβηγίας είναι λιγότερο αποτελεσματική από το αναμενόμενο, παρά το γεγονός ότι θεωρείται πρωτοποριακή.

Οι χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπουν τη δημιουργία βιώσιμων στρατηγικών χωρίς να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε πρόσθετα οικονομικά κίνητρα. Αντ' αυτού, θα πρέπει επίσης να δοθεί έμφαση στον εξηλεκτρισμό των άλλων τομέων, λαμβάνοντας υπόψη το υψηλό ενδιαφέρον από τους φορείς του συστήματος. Στην περίπτωση του Καναδά, φαίνεται ότι οι περιφερειακές διαφορές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη μιας εθνικής στρατηγικής. Εισάγονται πολλαπλά σημεία πιθανών σφαλμάτων λόγω της ασυντόνιστης ομοσπονδιακής και επαρχιακής νομοθεσίας, ενώ, ταυτόχρονα ισχυρές πολυεθνικές εταιρείες στη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα επιρροής. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για τη Νορβηγία, αν και η δημόσια χρηματοδότηση προς τις συμπράξεις ιδιωτικού και δημόσιου τομέα δείχνει μια τάση περιορισμού της ισχύος παρόμοιων φορέων.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 4

Aamaas, B., & Peters, G. (2017). The Climate Impact Of Norwegians' Travel Behavior. Travel Behavior and Society, 6, 10-18.

Aasness, M., & Odeck, J. (2015). The Increase Of Electric Vehicle Usage In Norway—Incentives And Adverse Effects. Eur. Transp. Res. Rev. 7(4).

Abedi, M. (2019, March 26). Carbon tax bumps up gas prices in 4 provinces - will it change consumer behaviour?. Global News. Retrieved from https://globalnews.ca/news/5117385/gas-prices-carbon-tax-consumer-behaviour/

Andersson, L., Ek, K., Kastensson, Å., & Wårell, L. (2020). Transition towards sustainable transportation – what determines fuel choice?. Transportation Policy, 90, 31-38.

Bahn, O., Marcy, M., Vaillancourt, K., & Waaub, J. (2013). Electrification of the Canadian road transportation sector: A 2050 outlook with TIMES-Canada. Energy Policy, 62, 593-606.

Bane NOR. (2020). Bane NOR and the railway reform. Retrieved from https://www.banenor.no/en/startpage1/News/bane-nor-and-the-railway-reform/

Bataille, C., Åhman, M., Neuhoff, K., Nilsson, L., Fischedick, M., Lechtenböhmer, S., Solano-Rodriquez, B., Denis-Ryan, A., Stiebert, S., Waisman, H., Sartor, O., & Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. Journal of Cleaner Production, 187, 960-973.

Bento, N. (2010). Is carbon lock-in blocking investments in the hydrogen economy? A survey of actors' strategies. Energy Policy, 38(11), 7189-7199.

Bigerna, S., Wen, X., Hagspiel, V., & Kort, P. (2019). Green electricity investments: Environmental target and the optimal subsidy. European Journal of Operational Research, 279(2), 635-644.

Bjorkhaug, H., Magnan, A., & Lawrence, G. (2018). The financialization of agri-food systems. London: Routledge.

Bråthen, S., Eriksen, K., Hjelle, H., & Killi, M. (2000). Economic appraisal in Norwegian aviation. Journal of Air Transportation Management, 6(3), 153-166.

Brown, D., Eckert, A., & Eckert, H. (2018). Carbon Pricing With An Output Subsidy Under Imperfect Competition: The Case Of Alberta's Restructured Electricity Market. Resource and Energy Economics, 52, 102-123.

Bunsen, T., Cazzola, P., Gorner, M., Paoli, L., Scheffer, S., Schuitmaker, R., Tattini, J., & Teter, J. (2018). Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification.

Calgary Transit. (2018). Statistics for 2018 | Calgary Transit. Retrieved from http://www.calgarytransit.com/about-us/facts-and-figures/statistics

Canada Revenue Agency. (2020). Carbon pollution pricing – what you need to know - Canada.ca. Retrieved from https://www.canada.ca/en/revenue-agency/campaigns/pollution-pricing.html

Canadian Energy Research Institute. (2020). Heavy-duty diesel vehicles: Their carbon-constrained future role within the North American economy. Retrieved April 5, 2020, from https://ceri.ca/assets/files/Study_134_Full_Report.pdf

Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1997). In search of useful public policies — key lessons and issues for policy makers. In Technological Systems and Industrial Dynamics (pp. 299-315). Springer.

Castro Verdezoto, P., Vidoza, J., & Gallo, W. (2019). Analysis and projection of energy consumption in Ecuador: Energy efficiency policies in the transportation sector. Energy Policy, 134, 110948.

Cazzola, P., Gorner, M., Schuitmaker, R., & Maroney, E. (2016). Global EV outlook 2016. In Proceedings of MOVE's monthly webinar. International Energy Agency, France.

Chin, C., Xiao, J., Ghias, A., Venkateshkumar, M., & Sauer, D. (2019). Customizable battery power system for marine and offshore applications: Trends, configurations, and challenges. IEEE Electrification Magazine, 7(4), 46-55.

Climate Change Litigation. (2020). Ontario v. Canada re Greenhouse Gas Pollution Pricing Act - Climate Change Litigation. Retrieved from http://climatecasechart.com/non-us-case/ontario-v-canada/?cn-reloaded=1

DeCicco, J. (2011). Biofuels and carbon management. Climatic Change, 111(3-4), 627-640.

Dolter, B., & Rivers, N. (2018). The cost of decarbonizing the Canadian electricity system. Energy Policy, 113, 135-148.

Egging, R., & Tomasgard, A. (2018). Norway's Role In The European Energy Transition. Energy Strategy Reviews, 20, 99-101.

EIA. (2020a). Crude oil including lease condensate reserves. Retrieved from https://www.eia.gov/international/data/world/petroleum-and-other-liquids/annual-crude-and-lease-condensate-reserves?pd=5&p=0000000000000000000008&u=0&f=A&v=mapbubble&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=00000000000000000000000000000000000000000000000001&l=249-ruvvvvvfvtvnvv1vrvvvvfvvvvvvfvvvou20evvvvvvvvvvvvvvs&s=283996800000&e=1546300800000

EIA. (2020b). What countries are the top producers and consumers of oil? Retrieved from https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=709&t=6

Eliasson, J., & Proost, S. (2015). Is sustainable transport policy sustainable? Transport Policy, 37, 92-100.

Erutku, C. (2019). Carbon Pricing Pass-Through: Evidence From Ontario And Quebec's Wholesale Gasoline Markets. Energy Policy, 132, 106-112.

Evans, S., Gregory, M., Ryan, C., Bergendahl, M. N., & Tan, A. (2009). Towards a sustainable industrial system: With recommendations for education, research, industry and policy. University of Cambridge, Institute for Manufacturing.

Fertel, C., Bahn, O., Vaillancourt, K., & Waaub, J. (2013). Canadian energy and climate policies: A SWOT analysis in search of federal/provincial coherence. Energy Policy, 63, 1139-1150.

Fevolden, A., & Klitkou, A. (2017). A fuel too far? Technology, innovation, and transition in failed biofuel development in Norway. Energy Research & Social Science, 23, 125-135.

Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2013). Electromobility in Norway-experiences and opportunities with Electric Vehicles (Report No. 1281/2013). Retrieved from https://www.toi.no/getfile.php/1333828/Publikasjoner/TØI%20rapporter/2013/1281-2013/1281-2013-elektronisk.pdf

Freeman, C. (1991). Innovation, Changes Of Techno-Economic Paradigm And Biological Analogies In Economics. Review of Economics, 42(2), 211.

Fuglestvedt, J. (2020). Travelling by car increases temperatures more than by plane. CICERO. Retrieved April 10, 2020, from https://cicero.oslo.no/en/posts/climate-news/travelling-by-car-increases-temperatures-more-than-by-plane

Generation Energy Council. (2020). Canada's energy transition getting to our energy future, together. Retrieved April 5, 2020, from https://www.nrcan.gc.ca/sites/www

Ghandehariun, S., & Kumar, A. (2016). Life cycle assessment of wind-based hydrogen production in Western Canada. International Journal of Hydrogen Energy, 41(22), 9696-9704.

Global Agricultural Information Network. (2019). Biofuels Annual 2019. Retrieved April 5, 2020, from https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_Ottawa_Canada_8-9-2019.pdf

Global Carbon Atlas. (2020). CO2 Emissions | Global Carbon Atlas. Retrieved April 5, 2020, from http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

Global Petrol Prices. (2020, April 16). Gasoline prices around the world, 16-Apr-2020 | GlobalPetrolPrices.com. GlobalPetrolPrices.com. Retrieved from https://www.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/

Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., & Bennehag, A. (2018). Fast Charging Infrastructure For Electric Vehicles: Today'S Situation And Future Needs. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 62, 314-329.

Gössling, S. (2009). Carbon neutral destinations: A conceptual analysis. Journal of Sustainable Tourism, 17(1), 17-37.

Government of Canada. (2020). Canada's actions to reduce emissions. Retrieved from https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/reduce-emissions.html

Government of Canada. (2020). Vehicles made in Canada 2018 - Canadian automotive industry. Retrieved from https://www.ic.gc.ca/eic/site/auto-auto.nsf/eng/am00767.html

Government of Norway. (2020). Oil and gas. Retrieved April 14, 2020, from https://www.regjeringen.no/en/topics/energy/oil-and-gas/id1003/

Government of Quebec. (2020). Budget 2020-2021. Retrieved from http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/budget/2020-2021/index_en.asp

Grantham Research Institute. (2020). National transport plan 2018-2029 (Meld. St. 33 2016-2017). Retrieved from https://www.climate-laws.org/cclow/geographies/norway/policies/national-transport-plan-2018-2029-meld-st-33-2016-2017

Grasso, M. (2020). Towards a broader climate ethics: Confronting the oil industry with morally relevant facts. Energy Research & Social Science, 62, 101383.

Hadj, T. (2020). Effects of corporate social responsibility towards stakeholders and environmental management on responsible innovation and competitiveness. Journal of Cleaner Production, 250, 119490.

Hagos, D., Gebremedhin, A., & Bolkesjø, T. (2017). The prospects of bioenergy in the future energy system of inland Norway. Energy, 121, 78-91.

Haley, B. (2015). Low-Carbon Innovation From A Hydroelectric Base: The Case Of Electric Vehicles In Québec. Environmental Innovation and Societal Transitions, 14, 5-25.

Han, H., Yu, J., & Kim, W. (2019). An electric airplane: Assessing the effect of travelers' perceived risk, attitude, and new product knowledge. Journal of Air Transport Management, 78, 33-42.

Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N., Figenbaum, E., Jakobsson, N., Jochem, P., Kinnear, N., Plötz, P., Pontes, J., Refa, N., Sprei, F., Turrentine, T., & Witkamp, B. (2018). A Review Of Consumer Preferences Of And Interactions With Electric Vehicle Charging Infrastructure. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 62, 508-523.

Haseli, Y., Naterer, G., & Dincer, I. (2008). Comparative assessment of greenhouse gas mitigation of hydrogen passenger trains. International Journal of Hydrogen Energy, 33(7), 1788-1796.

Henley, J., & Ulven, E. (2020). Norway and the A-ha moment that made electric cars the answer. Retrieved from https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/19/norway-and-the-a-ha-moment-that-made-electric-cars-the-answer

Hermansen, E. A. T., Peters, G., & Lahn, B. (2020). Climate neutrality the Norwegian way: Carbon trading? CICERO. Retrieved April 11, 2020, from https://cicero.oslo.no/no/posts/nyheter/climate-neutrality-the-norwegian-way-carbon-trading

Holtsmark, B. (2012). Elbilpolitikken-virker den etter hensikten? (Report No. 5). Retrieved from https://ssb.brage.unit.no/ssb-xmlui/bitstream/handle/11250/178116/HoltsmarkElbil2012.pdf?sequence=1

IEA. (2019). Transport biofuels. Retrieved April 4, 2020, from https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019/transport-biofuels

IEA. (2020). Data & Statistics - IEA. Retrieved May 5, 2020, from https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20sector

Janipour, Z., de Nooij, R., Scholten, P., Huijbregts, M., & de Coninck, H. (2020). What are sources of carbon lock-in in energy-intensive industry? A case study into Dutch chemicals production. Energy Research & Social Science, 60, 101320.

Johnson, B., & Gregersen, B. (1995). Systems of innovation and economic integration. Journal of Industrial Studies, 2(2), 1-18.

Johnson, B., H., Charles, E., Hommen, L., Lemola, T., Malerba, F., Reiss, T., & Smith, K. (1998). The ISE policy statement: The innovation policy implications of the ISE research project.

Joost, W. (2012). Reducing vehicle weight and improving U.S. energy efficiency using integrated computational materials engineering. JOM, 64(9), 1032-1038.

Justice Laws Website. (2020). Greenhouse Gas Pollution Pricing Act. Retrieved from https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/G-11.55/page-41.html#h-247111

Kharlamov, E., Skjaveland, M., Hovland, D., Mailis, T., Jimenez-Ruiz, E., Xiao, G., Soylu, A., Horrocks, I., & Waaler, A. (2018). Finding data should be easier than finding oil. In 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 4915-4923). IEEE.

Klein Woolthuis, R., Lankhuizen, M., & Gilsing, V. (2005). A System Failure Framework For Innovation Policy Design. Technovation, 25(6), 609-619.

Klitkou, A., Bolwig, S., Hansen, T., & Wessberg, N. (2015). The role of lock-in mechanisms in transition processes: The case of energy for road transport. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 22-37.

Krueger, R. R., Bercuson, D. J., Hall, R. D., Morton, W. L., & Nicholson, N. L. (2020). Canada. In Encyclopaedia Britannica. Retrieved from https://www.britannica.com/place/Canada

Legislative Assembly of Ontario. (2018). Cap and Trade Cancellation Act, 2018. Retrieved from https://www.ola.org/en/legislative-business/bills/parliament-42/session-1/bill-4

Lei, Z., & Nugent, J. (2018). Coordinating China's economic growth strategy via its government-controlled association for private firms. Journal of Comparative Economics, 46(4), 1273-1293.

Lemieux, A., Sharp, K., & Shkarupin, A. (2019). Preliminary assessment of underground hydrogen storage sites in Ontario, Canada. International Journal of Hydrogen Energy, 44(29), 15193-15204.

Liimatainen, H., van Vliet, O., & Aplyn, D. (2019). The potential of electric trucks – an international commodity-level analysis. Applied Energy, 236, 804-814.

Lorentzen, E., Haugneland, P., Bu, C., & Hauge, E. (2017). Charging infrastructure experiences in Norway-the worlds most advanced EV market. Paper presented at the EVS30 Symposium.

Mah, D. (2020). Conceptualising government-market dynamics in socio-technical energy transitions: A comparative case study of smart grid developments in China and Japan. Geoforum, 108, 148-168.

Malerba, F. (2002). Sectoral Systems Of Innovation And Production. Research Policy, 31(2), 247-264.

Malerba, F. (Ed.). (2004). Sectoral systems of innovation: Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge University Press.

Marin, G., Naterer, G., & Gabriel, K. (2010). Rail transportation by hydrogen vs. electrification – case study for Ontario Canada, I: Propulsion and storage. International Journal of Hydrogen Energy, 35(12), 6084-6096.

Marsh, G. (2008). Biofuels: Aviation Alternative?. Renewable Energy Focus, 9(4), 48-51.

Martine, K. (n.d.). Why Canadian automakers should accelerate their electric vehicle capabilities. Financial Post. Retrieved from https://business.financialpost.com/transportation/autos/why-canadian-automakers-should-accelerate-their-electric-vehicle-capabilities

Mondou, M., Skogstad, G., & Bognar, J. (2018). What are the prospects for deploying advanced biofuels in Canada?. Biomass and Bioenergy, 116, 171-179.

Nikel, D. (2019, June 18). Electric cars: Why little Norway leads the world in EV usage. Forbes. Retrieved April 13, 2020, from https://www.forbes.com/sites

Norsk Elbilforening. (n.d.). Norwegian EV policy. Retrieved April 14, 2020, from https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/

Norwegian Government. (2020). The government's action plan for green shipping. Retrieved from https://www.regjeringen.no/contentassets/2ccd2f4e14d44bc88c93ac4effe78b2f/the-governments-action-plan-for-green-shipping.pdf

Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2019). Norway's National Plan related to the Decision of the EEA Joint Committee No. 269/2019 of 25 October 2019. Retrieved from https://www.regjeringen.no/contentassets/4e0b25a4c30140cfb14a40f54e7622c8/national-plan-2030_version19_desember.pdf

Norwegian Ministry of Transport and Communications. (2020). National Transport Plan 2018–2029. Retrieved from https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/en-gb/pdfs/stm201620170033000engpdfs.pdf

Ó Gallachóir, B., Howley, M., Cunningham, S., & Bazilian, M. (2009). How Private Car Purchasing Trends Offset Efficiency Gains And The Successful Energy Policy Response. Energy Policy, 37(10), 3790-3802.

OECD. (2017). OECD Environmental Performance Reviews: Canada. Paris: OECD Publishing. Retrieved from https://books.google.gr/books?id=EcpDDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=https://books.google.gr/books?id%3DEcpDDwAAQBAJ&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwiApO6R3JfoAhUBtYsKHVtPD4cQ6AEINDAB#v=onepage&q&f=false

OICA. (2018). World motor vehicle production by country and type. Retrieved from http://www.oica.net/wp-content/uploads/By-country-2017.pdf

Pries, F., Talebi, A., Schillo, R., & Lemay, M. (2016). Risks affecting the biofuels industry: A US and Canadian company perspective. Energy Policy, 97, 93-101.

Radović, J. R., Oldenburg, T. B., & Larter, S. R. (2018). Environmental assessment of spills related to oil exploitation in Canada's oil sands region. In Oil Spill Environmental Forensics Case Studies (pp. 401-417). Butterworth-Heinemann.

Reabroy, R., Tiaple, Y., Pongduang, S., Nantawong, T., & Iamraksa, P. (2015). The possibility of using electrical motor for boat propulsion system. Energy Procedia, 79, 1008-1014.

Renkel, M., & Lümmen, N. (2018). Supplying hydrogen vehicles and ferries in western Norway with locally produced hydrogen from municipal solid waste. International Journal of Hydrogen Energy, 43(5), 2585-2600.

Rødseth, K., Wangsness, P., & Schøyen, H. (2018). How Do Economies Of Density In Container Handling Operations Affect Ships' Time And Emissions In Port? Evidence From Norwegian Container Terminals. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 59, 385-399.

Rosenthal, E. (2008, March 20). A carbon-neutral Norway: Fine print in the plan. New York Times. Retrieved April 11, 2020, from https://www.nytimes.com/2008/03/20/world/europe/20iht-norway.4.11294786.html

Ryghaug, M., & Toftaker, M. (2016). Creating transitions to electric road transport in Norway: The role of user imaginaries. Energy Research & Social Science, 17, 119-126.

Saboori, B., Sapri, M., & bin Baba, M. (2014). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in OECD's transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach. Energy, 66, 150-161.

Sæverud, I., & Wettestad, J. (2006). Norway and emissions trading: From global front-runner to EU follower. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 6(1), 91-108.

Savaget, P., Geissdoerfer, M., Kharrazi, A., & Evans, S. (2019). The Theoretical Foundations Of Sociotechnical Systems Change For Sustainability: A Systematic Literature Review. Journal of Cleaner Production, 206, 878-892.

Shaffer, B. (2020). When it comes to vehicles, Canada tops the charts for poor fuel economy. Driving. Retrieved April 5, 2020, from https://driving.ca/auto-news/news/when-it-comes-to-vehicles-canada-tops-the-charts-for-poor-fuel-economy

Shaw, D., Achuthan, K., Sharma, A., & Grainger, A. (2019). Resilience orchestration and resilience facilitation: How government can orchestrate the whole UK ports market with limited resources – the case of UK ports resilience. Government Information Quarterly, 36(2), 252-263.

Sheldon, T., & Dua, R. (2019). Measuring the cost-effectiveness of electric vehicle subsidies. Energy Economics, 84, 104545.

Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'agosto, M., Dimitriu, D., Figueroa Meza, M. J., Fulton, L., Kobayashi, S., Lah, O., et al. (2014). Transport Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ed O Edenhofer et al. Cambridge and New York: Cambridge University Press. Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf

Singh, B., & Strømman, A. (2013). Environmental Assessment Of Electrification Of Road Transport In Norway: Scenarios And Impacts. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 25, 106-111.

Siskos, P., Zazias, G., Petropoulos, A., Evangelopoulou, S., & Capros, P. (2018). Implications Of Delaying Transport Decarbonisation In The EU: A Systems Analysis Using The PRIMES Model. Energy Policy, 121, 48-60.

Sovacool, B., Noel, L., Kester, J., & Zarazua de Rubens, G. (2018). Reviewing Nordic Transport Challenges And Climate Policy Priorities: Expert Perceptions Of Decarbonisation In Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweden. Energy, 165, 532-542.

SSB. (2020). Transport står for 30 prosent av klimautslippene i Norge [Transport accounts for 30 percent of greenhouse gas emissions in Norway]. Retrieved from https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/transport-star-for-30-prosent-av-klimautslippene-i-norge

Statistics Canada. (2020). Canada's national statistical agency. Retrieved from https://www.statcan.gc.ca/en/start

Statistics Norway (SSB). (2020). Norway's national statistical agency. Retrieved April 15, 2020, from https://www.ssb.no/en

Thorne, Z., & Hughes, L. (2019). Evaluating the effectiveness of electric vehicle subsidies in Canada. Procedia Computer Science, 155, 519-526.

Thronsen, M. (2020, May 30). Feirer 10 prosent elbiler i Norge. Retrieved from https://elbil.no/feirer-10-prosent-elbiler-i-norge/

TØI. (n.d.). All-time high for public transport in Norway. Retrieved April 15, 2020, from https://www.toi.no/markets-and-governance/all-time-high-for-public-transport-in-norway-article34635-1682.html

Touratier-Muller, N., Machat, K., & Jaussaud, J. (2019). Impact of French governmental policies to reduce freight transportation CO2 emissions on small- and medium-sized companies. Journal of Cleaner Production, 215, 721-729.

Trading Economics. (2020). GDP from Transport - Countries - List | G20. Retrieved from https://tradingeconomics.com/country-list/gdp-from-transport?continent=g20

Transport Canada. (2018). Transportation in Canada Overview Report 2018. Retrieved from https://www.tc.gc.ca/documents/Transportation_in_Canada_2018.pdf

Transport Canada. (2020). Transportation 2030: Green and Innovative Transportation - Transport Canada. Retrieved from https://www.tc.gc.ca/eng/future-transportation-canada-green-innovative-transportation.html

UNFCCC. (2020a). Greenhouse Gas Inventory Data. Retrieved June 4, 2020, from https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

UNFCCC. (2020b). Update of Norway's nationally determined contribution. Retrieved from https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Norway%20First/Norway_updatedNDC_2020%20(Updated%20submission).pdf

University of Toronto Transportation Research Institute. (2020). Home| University of Toronto Transportation Research Institute. Retrieved from https://uttri.utoronto.ca/.

Vaillancourt, K., Alcocer, Y., & Bahn, O. (2015). An analysis of the impacts of new oil pipeline projects on the Canadian energy sector with a TIMES model for Canada. In Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models (pp. 247-260). Springer International Publishing.

Vaillancourt, K., Bahn, O., & Levasseur, A. (2019). The role of bioenergy in low-carbon energy transition scenarios: A case study for Quebec (Canada). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102, 24-34.

Vasudeva, G. (2013). Weaving together the normative and regulative roles of government: How the Norwegian Sovereign Wealth Fund's responsible conduct is shaping firms' cross-border investments. Organization Science, 24(6), 1662-1682.

Weber, K., & Rohracher, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. Research Policy, 41(6), 1037-1047.

Weiss, M., Irrgang, L., Kiefer, A., Roth, J., & Helmers, E. (2020). Mass- and power-related efficiency trade-offs and CO2 emissions of compact passenger cars. Journal of Cleaner Production, 243, 118326.

Zenith, F., Møller-Holst, S., Myklebust, T., Thomassen, M., Tolchard, J. R., Hovland, J., ... & Landmark, A. (2019). Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner 2. utgave. SINTEF. Retrieved from https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2627911

Zhao, X., Ke, Y., Zuo, J., Xiong, W., & Wu, P. (2020). Evaluation of sustainable transport research in 2000-2019. Journal of Cleaner Production, 256, 120404.

Κεφάλαιο 5. Μετάβαση εν μέσω οικονομικής κρίσης: Η περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα

5.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής καταλαμβάνοντας ποσοστό πάνω από το 80% (IEA, 2018), με τον άνθρακα να κατέχει κομβικό ρόλο. Ως αποτέλεσμα αυτής της εξάρτησης στα ορυκτά καύσιμα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατέληξε να αντιπροσωπεύει το ένα τέταρτο των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) (Tranberg et al., 2019). Στις χώρες της ΕΕ, το 2016, το 21.5% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από στερεά καύσιμα (κυρίως άνθρακα), τα οποία ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών CO2 που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, η απανθρακοποίηση του τομέα ηλεκτροπαραγωγής και η μετάβαση του μείγματος σε πιο καθαρά καύσιμα αποτελεί κομβικό στοιχείο της μετάβασης.

Το 2017, η Ελλάδα ήταν υπεύθυνη για περίπου το 2.2% των εκπομπών CO2 από ορυκτά καύσιμα στις χώρες της ΕΕ, παρόλο που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0.2% της συνολικής παραγωγής της ΕΕ (IEA, 2019), φανερώνοντας μια δυσανάλογη ένταση εκπομπών (623 gCO2/kWh το 2016, σε σύγκριση με σχεδόν το ήμισυ 295,8 gCO2/kWh του μέσου όρου της ΕΕ; EEA, 2018), ειδικά αν ληφθεί υπόψη το κοινωνικοοικονομικό μερίδιο της χώρας στην περιοχή. Στατιστικά στοιχεία (IEA, 2017) δείχνουν ότι μέχρι το 2017 το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας ήταν υψηλής έντασης άνθρακα, με τον λιγνίτη να αντιπροσώπευε το 34% της συνολικής παραγωγής, ακολουθούμενος από το φυσικό αέριο (31%) με σημαντικές τάσεις αύξησης του αερίου. Η χώρα έχει πολύ μακρά παράδοση εξόρυξης λιγνίτη: η ελληνική λιγνιτική-μεταλλευτική βιομηχανία είναι ένας από τους ηγέτες του κλάδου στην Ευρώπη με μακροχρόνια εμπειρία στις εξορυκτικές δραστηριότητες (Kavouridis, 2008). Η μεγάλη εξάρτηση από τον λιγνίτη μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στα άφθονα εγχώρια αποθέματα που μέχρι στιγμής έχουν συμβάλλει στην ενεργειακή ασφάλεια.

Από την άλλη, η εξόρυξη και καύση λιγνίτη έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, όχι μόνο για τους κατοίκους των κοντινών περιοχών εξόρυξης, αλλά και για τον συνολικό πληθυσμό. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, επτά εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2012, ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Dam et al., 2017). Ο λιγνίτης θεωρείται ένα από τα πιο ρυπογόνα καύσιμα (Arapostathis and Fotopoulos, 2019).

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο να εξετάσει την ιστορική εξέλιξη του ελληνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής για να αξιολογήσει τις δυνατότητες απανθρακοποίησης του τομέα μέσω του σταδιακού κλεισίματος των λιγνιτικών μονάδων και της αύξησης της δυναμικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με βάση τις δεσμεύσεις της χώρας και τα υφιστάμενα σχέδια. Η πορεία της μετάβασης διερευνάται μέσω της ιστορικής εξέλιξης του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προσδιορίζοντας ποιοι παράγοντες του ευρύτερου περιβάλλοντος έχουν επηρεάσει αυτή τη διαδικασία και πώς νέες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα έχουν αρχίσει να αντικαθιστούν ορισμένες από τις κυρίαρχες ρυπογόνες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση του μοντέλου πολυεπίπεδης ανάλυσης (MLP) (Rip and Kemp, 1998; Geels, 2002), με στόχο την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος σε μια βιώσιμη μεταλιγνιτική εποχή από μια κοινωνικο-τεχνική σκοπιά, η οποία είναι εναρμονισμένη με τα ιστορικά δεδομένα. Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει διάφορες πτυχές του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, χωρισμένες σε δύο χρονικές περιόδους, 1990-2008 και 2009-2017, δίνοντας κομβικό ρόλο στην οικονομική ύφεση στην Ελλάδα, η οποία προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στη χρήση ενέργειας.

5.2 Η χρήση του λιγνίτη και άλλων παραδοσιακών καυσίμων

Υπάρχουν διάφορα επιχειρήματα για το κλείσιμο και την αντικατάσταση των λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν στην Ελλάδα, τα οποία περιστρέφονται κυρίως γύρω από οικονομικούς, κλιματικούς/περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς/υγειονομικούς λόγους. Εδώ, ξεκινάμε εξετάζοντας σημαντικές κοινωνικο- και τεχνο-οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές που σχετίζονται με τη χρήση λιγνίτη στα διάφορα στάδια του κύκλου λειτουργίας τέτοιων σταθμών από την κατασκευή μέχρι την παραγωγή ενέργειας (Πίνακας 5.1). Σε όλα τα στάδια, η χρήση του λιγνίτη δημιουργεί πολλές θέσεις εργασίας, κάτι που εξηγεί την επί χρόνια κυριαρχία του καυσίμου αλλά και τη δυσκολία στην απόσβεση της χρήσης του. Ωστόσο, το περιβαλλοντικό κόστος είναι σημαντικό.

Πίνακας 5.1. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής λιγνιτικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής	Άμεση απασχόληση (έτη	Έμμεση απασχόληση (έτη	Επαγόμενη απασχόληση (έτη	Συνολική απασχόληση (έτη

		αλλαγής (€/MWh)	εργασίας/TWh)	εργασίας/TWh)	εργασίας/TWh)	εργασίας/TWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	30	0.57	14.6	9	4.5	28.1
Εξόρυξη, επεξεργασία & μεταφορά λιγνίτη	20	0.38	119.5	39.3	84.8	243.6
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	1,230.00	23.37	104.3	19.8	54.2	178.3
Σύνολο	1,280.00	24.32	238.4	68.1	143.5	450

Η συνεχής εκμετάλλευση του λιγνίτη είχε ως αποτέλεσμα τη διεύρυνση και την αύξηση του βάθους (πάνω από 200 μέτρα) των μεταλλείων, καθιστώντας τα ασταθή και δύσκολα διαχειρίσιμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα αρκετές κατολισθήσεις κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, μερικές από τις οποίες έχουν συμβεί κοντά σε χωριά και οικισμούς της Δυτικής Μακεδονίας (Zevgolis et al., 2019). Παρόμοια περιστατικά έχουν συμβεί στην Πολωνία, μια άλλη χώρα που εξαρτάται από τον άνθρακα, μερικές φορές προκαλώντας διάβρωση σε κοντινούς δρόμους (Bednarczyk, 2017). Επιπλέον, η εκσκαφή άνθρακα έχει συσχετιστεί με την αύξηση της σεισμικότητας σε κοντινές περιοχές (Mirek and Mirek, 2011).

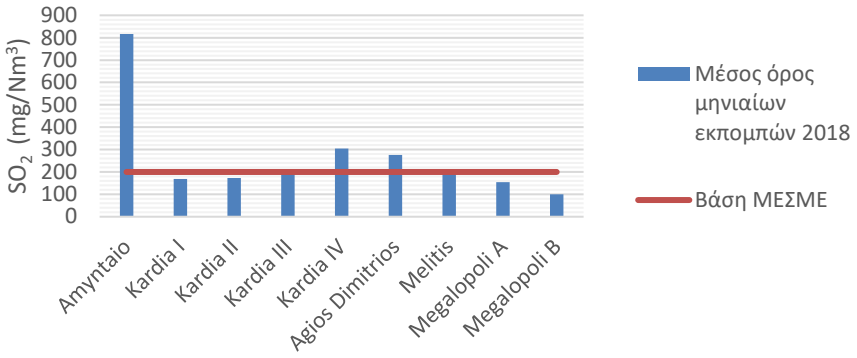
Πέρα από τη συνεισφορά σε επίπεδο εκπομπών CO2, η λειτουργία των λιγνιτικών μονάδων αποτελεί απειλή για το κλίμα, τη βιοποικιλότητα και την ευημερία εξαιτίας των εκπομπών πρόσθετων αερίων όπως SO2, NOx και σκόνης, τις οποίες η ΕΕ έχει εντείνει τις προσπάθειες περιορισμού μέσω κανονισμών (π.χ., οδηγία 2010/75/ΕΕ). Το διοξείδιο του θείου θεωρείται υπεύθυνο για την αυξημένη θνησιμότητα που προκαλείται από καρδιαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα (Wu et al., 2020), ενώ τα οξείδια του αζώτου, εκτός από θέματα υγείας, σχετίζονται με διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένης της όξινης βροχής, του σχηματισμού φωτοχημικής αιθαλομίχλης και της δημιουργίας λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων (PM) (He et al., 2019). Επιπλέον, η καύση λιγνίτη είναι συνυφασμένη με την εκπομπή αρκετών ρύπων εκτός από CO2, SO2 και NOx, που ονομάζονται πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και θεωρούνται τοξικοί και μεταλλαξιογόνοι, δυνητικά με καρκινογόνες επιδράσεις στον άνθρωπο και σε διάφορους ζωντανούς οργανισμούς (Nádudvari et al., 2018). Ως εκ τούτου, όλες αυτές οι εκπομπές μπορεί να προκαλέσουν ένα εξωτερικό πρόσθετο κόστος (Papagiannis et al., 2014).

Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και σύμφωνα με την προαναφερθείσα οδηγία, η Ελλάδα το 2015 ανέπτυξε το Μεταβατικό Εθνικό Σχέδιο Μείωσης Εκπομπών (TNERP), θέτοντας όρια εκπομπών για τις λιγνιτικές μονάδες από το 2016 έως το 2020, και με την υποχρέωση να προβεί σε ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών σε επίπεδο το πολύ έως 200mg/Nm3 για τα αέρια SO2 και NOx. Το 2018, οι σταθμοί Αμυνταίου, Καρδιάς, Αγίου Δημητρίου, Μελίτη και Μεγαλόπολης δημοσίευσαν εκθέσεις (Ministry of Energy, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f) σχετικά με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους των μηνιαίων λειτουργιών των σταθμών (Πίνακας 5.2 και Εικόνα 5.1). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι σταθμοί Μελίτη και Μεγαλόπολης πέτυχαν τους στόχους τους, ωστόσο οι μονάδες του Αγίου Δημητρίου αντιμετώπισαν καθυστερήσεις, καθώς η εφαρμογή ξηρής αποθείωσης δεν είναι εφικτή για όλες τις μονάδες, ενώ τα εργοστάσια Αμυνταίου και Καρδιάς έχουν χαμηλές επιδόσεις, καθώς λειτουργούν σε περιορισμένη βάση υψηλών εκπομπών και δεν δεσμεύονται από τους ίδιους στόχους.

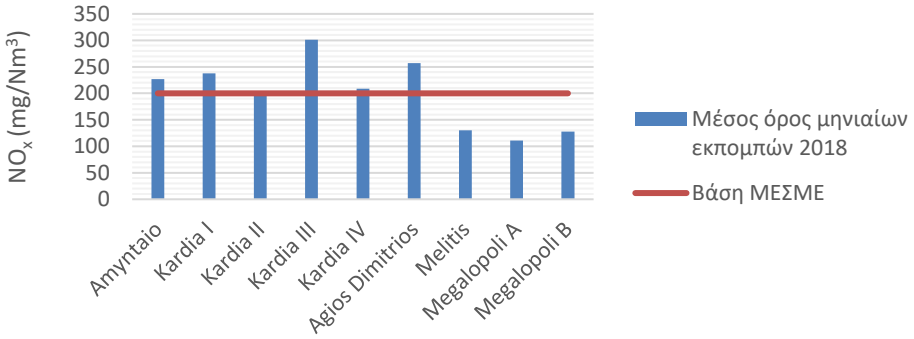
Με τη λήξη του TNERP το 2020, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την επίτευξη από την Ελλάδα του αντίστοιχου Στόχου Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDG) της Ατζέντας για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη 2030 (Griggs et al., 2013; Sachs, 2012), και ειδικότερα σχετικά με μοτίβα παραγωγής και κατανάλωσης (Gupta και Vegelin, 2016), καθώς καταδεικνύεται ότι δεν μπορούν να επιτευχθούν επαρκή επίπεδα προστασίας του περιβάλλοντος αν στο μείγμα συμμετέχει ο λιγνίτης ακόμα και αν εφαρμοστούν τεχνικές BAT (αντίστοιχα με τις BAT του κεφαλαίου 3 για τη βιομηχανία) (Cikankowitz και Laforest, 2013).

Πίνακας 5.2. Μέσες μηνιαίες εκπομπές ανά σταθμό ηλεκτροπαραγωγής

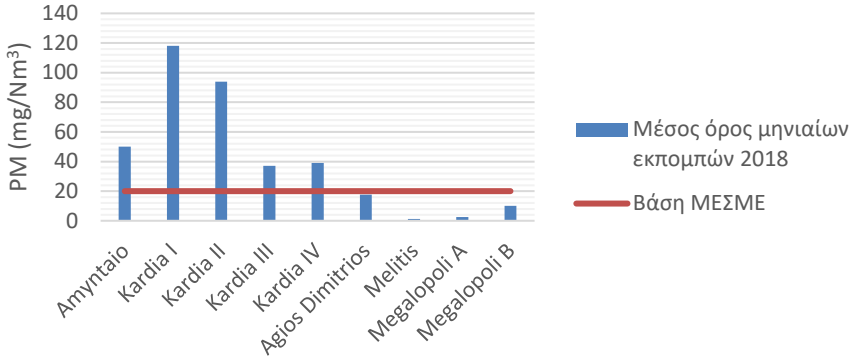
Σταθμός	SO_2 (mg/Nm3)	OXI_x (mg/Nm3)	ΜΜ (mg/Nm3)
Αμύνταιο	816	227	50
Καρδιά I	169	238	118
Καρδιά II	173	203	94
Καρδιά III	195	301	37
Καρδιά IV	305	209	39
Άγιος Δημήτριος	276	257	17.6
Μελίτης	200	130	1.2
Μεγαλόπολη A	154	111	2.5
Μεγαλόπολη B	100	128	10



α)



β)



γ)

Εικόνα 5.1. Μέσες μηνιαίες εκπομπές SO2 (α), NOx (β) και σκόνης (γ) για το 2018

Το ντίζελ, ένα ορυκτό καύσιμο με υψηλή μεταφορική ικανότητα, χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πολυάριθμα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Μια σημαντική ανησυχία έγκειται στο αποτύπωμα άνθρακα: οι εκπομπές CO2 που εντοπίζονται στα διάφορα

στάδια του κύκλου χρήσης πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μαζί με το κόστος εξωτερικότητάς τους για την κλιματική αλλαγή, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ντίζελ και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	1.65	0.03
Εξόρυξη & Επεξεργασία Αργού Πετρελαίου	7	0.13
Μεταφορά Αργού Πετρελαίου	13	0.25
Διύλιση Αργού Πετρελαίου	42	0.8
Μεταφορά Μαζούτ	0.58	0.01
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	780	14.82
Σύνολο	844.23	16.04

Η καύση ντίζελ στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας συνδέεται επίσης με οφέλη απασχόλησης (Kis et al., 2018), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4. Θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ντίζελ

Στάδιο κύκλου ζωής	Έτη εργασίας/TWh
Εξόρυξη & αξιοποίηση υλικών	5.4
Κατασκευή μονάδων παραγωγής ενέργειας	6.48
Κατασκευή/Εγκατάσταση	21.6
Μεταφορά Καυσίμων	11.52
Λειτουργία	97.2
Συντήρηση	7.2
Σύνολο	149.4

Τέλος, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα, η οποία όμως βασίζεται σε εισαγωγές (Newman 2013). Παρά το γεγονός ότι κερδίζει έδαφος ως φθηνή εναλλακτική λύση εκτοπίζοντας το λιγνίτη από την κυριαρχία

στο σύστημα αλλά και ως πιθανή λύση για τη διαλείπουσα ανάπτυξη ΑΠΕ ευρείας κλίμακας (Elliott 2016), η περαιτέρω αύξηση της χρήσης φυσικού αερίου θα μπορούσε να καταστήσει την Ελλάδα σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από τις εισαγωγές για την ικανοποίηση της ζήτησης και, ως εκ τούτου, δυνητικά ευάλωτη σε οικονομικές και πολιτικές πιέσεις (Roupas et al., 2011; Antosiewicz et al. 2019), κάτι το οποίο έγινε εμφανές στην ενεργειακή κρίση του 2022-2023. Ωστόσο, το φυσικό αέριο παράγει λιγότερες εκπομπές σε σύγκριση με τον λιγνίτη και το μαζούτ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	1.81	0.03
Εξόρυξη & Επεξεργασία Φυσικού Αερίου	1.51	0.03
Μεταφορά Φυσικού Αερίου	3.37	0.06
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	490	9.31
Σύνολο	496.69	9.44

Παρά το μεγάλο μερίδιό του στο εθνικό ενεργειακό μείγμα, το φυσικό αέριο συνδέεται με χαμηλότερα οφέλη απασχόλησης (Roinioti and Koroneos, 2019), σε σύγκριση με τον λιγνίτη και το ντίζελ (Πίνακας 5.6).

Πίνακας 5.6. Θέσεις εργασίας που δημιουργήθηκαν από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο

Παράγοντες άμεσης απασχόλησης	Άμεση (Ετη εργασίας / TWh)	Έμμεσες (έτη εργασίας/ TWh)	Επαγόμενη (έτη εργασίας / TWh)	Σύνολο (έτη εργασίας/ TWh)
Κατασκευή	4	2.5	1.2	7.7
Λειτουργία	51.3	9.7	26	87
Σύνολο	55.3	12.2	27.2	94.7

5.3 Μεθοδολογία

Το MLP, που αναπτύχθηκε αρχικά από τους Rip και Kemp (1998) και εξελίχθηκε περαιτέρω από τον Geels (2002), αποτελεί ένα αναλυτικό πλαίσιο για τη μελέτη κοινωνικοτεχνικών μεταβάσεων βιωσιμότητας, το οποίο επικεντρώνεται στη δημιουργία ποιοτικών σεναρίων για την εξέταση των αλληλεπιδράσεων και της δυναμικής μεταξύ τριών διαφορετικών επιπέδων: του ευρύτερου εξωγενούς περιβάλλοντος (μακρο-επίπεδο), του υφιστάμενου κυρίαρχου καθεστώτος (μεσο-επίπεδο) και των ανερχόμενων τεχνολογιών (niches) (μικρο-επίπεδο).

Στο μικροεπίπεδο, προστατευμένοι χώροι ανάπτυξης τεχνολογιών παρέχουν το περιβάλλον για τη δημιουργία και την ανάπτυξη ριζοσπαστικών καινοτομιών (Schot, 1998) οι οποίες σταδιακά έχουν τη δυνατότητα να ωριμάσουν και να βγουν από αυτούς τους χώρους παραβιάζοντας τα σύνορα στο μεσο-επίπεδο και διαταράσσοντας την ισορροπία του κοινωνικο-τεχνικού καθεστώτος, το οποίο αποτελεί μια επέκταση του τεχνολογικού καθεστώτος (Nelson and Winter, 1982). Μέσα στο κοινωνικο-τεχνικό σύστημα, στοιχεία όπως οι κοινωνικές ομάδες, οι φορείς και οι πρακτικές ή δομές είναι αλληλένδετα (Geels 2005b), καθορίζοντας τις φυσικές τροχιές που προκαλούνται από τις δυναμικές σχέσεις κάτω από ένα σύνολο συγκεκριμένων κανόνων. Το μεσο-επίπεδο βρίσκεται μέσα στο εξωγενές περιβάλλον του μακρο-επιπέδου, που σχηματίζεται από το κοινωνικοτεχνικό τοπίο, και το οποίο επηρεάζει την ευρύτερη κοινωνικοτεχνική ανάπτυξη.

Παρόλο που το MLP επικεντρώνεται στη μετάβαση προς τη βιώσιμη ανάπτυξη (Geels, 2011), αρκετές μελέτες ασχολούνται με περιπτώσεις που προέρχονται από διαφορετικούς τομείς, εξαιτίας της παλαιότητας του, καθώς επίσης και των ριζών του σε ακόμα παλαιότερες τοπολογίες. Οι Congdon et al. (1997) εξέτασαν την υγεία και τη θνησιμότητα των μικρών περιοχών της Αγγλίας και της Ουαλίας. Σε μια παρόμοια πτυχή της δημόσιας υγείας και της προσωπικής υγιεινής, ο Geels (2005a) μελέτησε τη μετάβαση στην παροχή νερού ως διαδικασία συν-εξέλιξης της κοινωνίας και της τεχνολογίας. Η ανάγκη για συνύπαρξη και ευελιξία μεταξύ των niches και του κυρίαρχου καθεστώτος τονίστηκε από τον Smith (2007), ο οποίος ανέλυσε πράσινα niches γύρω από την οικολογική στέγαση και τα βιολογικά τρόφιμα.

Από την άλλη, ο Geels (2005γ) παρουσίασε τρεις ιστορικές περιπτωσιολογικές μελέτες σχετικά με τον τομέα των μεταφορών, για να καταδείξει την τεχνολογική υποκατάσταση ύστερα από εξελίξεις στο ευρύτερο τοπίο καθώς και τον μετασχηματισμό που προέκυψε ως αποτέλεσμα

των προβλημάτων του καθεστώτος. Σε παρόμοιο πλαίσιο ο Geels (2002) συζήτησε επίσης την αλληλεπίδραση μεταξύ των niches και του καθεστώτος, προωθώντας το επιχείρημα ότι η αποτελεσματική διάχυση των niches θα μπορούσε να συμβεί προοδευτικά και στα πλαίσια συνύπαρξης με το καθεστώς. Οι Nykvist και Whitmarsh (2008) επέκτειναν την έννοια των niches για να συμπεριλάβουν πολυάριθμες καινοτομίες που οδήγησαν στη μετάβαση του τομέα των μεταφορών στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Σουηδία: δεδομένου ότι τα μέτρα πολιτικής είχαν μικρή επίδραση σε σχέση με την αύξηση της ζήτησης, η μετάβαση του υφιστάμενου καθεστώτος βασίστηκε στις τεχνολογικές βελτιώσεις των οχημάτων και του σχεδιασμού ταξιδιών και μικρότερης κλίμακας μεταφορών. Αυτές οι προσεγγίσεις διέφεραν από μια κλασική προσέγγιση των niches, όπως η μετάβαση σε έναν πλωτό ανελκυστήρα σιτηρών στο λιμάνι του Ρότερνταμ το 1901 (Van Driel and Schot, 2005), όπου η τεχνολογική καινοτομία δημιούργησε πίεση στο καθεστώς, παρόλο που δεν υπήρχε πίεση από το κοινωνικο-τεχνικό τοπίο. Η ανάγκη για τέτοιες επεκτάσεις στις μεταφορές οφείλεται στην ύπαρξη πολλαπλών καθεστώτων, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις περιέχουν ειδικές περιπτώσεις όπως η ύπαρξη πολλαπλών υπό-καθεστώτων (Geels, 2012). Η μεγάλη σημασία αυτών των διαφορετικών προσεγγίσεων που εστιάζουν στο ευρύτερο τοπίο και όχι μόνο στην από τα κάτω προς τα πάνω διάχυση της καινοτομίας είναι σημαντικές σε φαινόμενα κρίσεων, όπου πράγματι οι μεγάλες διαταραχές προκαλούνται από τριγμούς στο ευρύτερο περιβάλλον.

Με βάση την παραπάνω βιβλιογραφία βλέπουμε ότι ο τομέας που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μελέτες μέσω του MLP είναι αυτός των μεταφορών, διότι ιστορικά έχουν προκύψει ήδη σημαντικές μεταβάσεις για να καθοδηγήσουν τη μελέτη. Διδάγματα όμως που αντλήθηκαν από τέτοιες περιπτωσιολογικές μελέτες έχουν αξιοποιηθεί και για τη μελέτη της μετάβασης προς οικονομίες χαμηλών εκπομπών, ειδικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Ενδεικτικά, ο McDowall (2014) εξέτασε πιθανά σενάρια μετάβασης με βάση το υδρογόνο σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο Ηνωμένο Βασίλειο, με ρητή αναφορά στα οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Οι Van Sluisveld et al. (2017) κατασκεύασαν αφηγήσεις βασισμένες σε MLP για να καθοδηγήσουν μερικώς μελέτες βασισμένες σε IAMs, και να δημιουργήσουν μια μελέτη περίπτωσης για την Ευρώπη, σχετικά με τον παλαιό στόχο μείωσης των εκπομπών κατά 80% της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2050. Στον ίδιο άξονα, οι Geels et al. (2018) συνδύασαν ποσοτικά μοντέλα με το MLP για τη δημιουργία κοινωνικο-τεχνικών σεναρίων για τον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου. Η προσέγγιση MLP βοήθησε στη διερεύνηση προβλημάτων κοινωνικής αποδοχής και πολιτικής σκοπιμότητας σε μεταβάσεις χαμηλών εκπομπών άνθρακα,

αναλύοντας περαιτέρω την εισαγωγή της έννοιας της χάραξης πολιτικής στο MLP από τον Geels (2014), ο οποίος επικεντρώθηκε στον ρόλο των φορέων αντί των πράσινων niches. Ομοίως, οι Rogge et al. (2018) συνδύασαν επίσης τη μοντελοποίηση ποσοτικών συστημάτων με το MLP για τη μελέτη της μετάβασης του γερμανικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αντλώντας από τις τυπολογίες των Geels και Schot (2007). Οι Moallemi et al. (2017) αντιμετώπισαν θεωρητικούς περιορισμούς δημιουργώντας ένα πλαίσιο για να εξηγήσουν τη συγκεκριμένη δυναμική της σταδιακής εισαγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ινδίας, συνδυάζοντας το MLP με την προσέγγιση βασισμένη σε πολλαπλά πρότυπα (de Haan and Rotmans, 2011), το εννοιολογικό πλαίσιο μετασχηματισμών μέσα από κινητήριες δυνάμεις (Frantzeskaki, 2011), το πλαίσιο βασισμένο σε παράγοντες του συστήματος (Yücel, 2010) καθώς και εργαλεία για ολοκληρωμένη αξιολόγηση της βιωσιμότητας (Weaver and Rotmans, 2006). Τέλος, οι Verbong και Geels (2007) χρησιμοποίησαν την προσέγγιση MLP στο ολλανδικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας για να εξηγήσουν πώς το καθεστώς, που αναλύεται σε τρεις διαφορετικές περιόδους, πραγματοποιεί μια προοδευτική μετάβαση που καθοδηγείται από την ελευθέρωση και τον εξευρωπαϊσμό και όχι από τη διάδοση εξειδικευμένων τεχνολογιών. Δεδομένου ότι η ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι χαμηλή σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, πρότειναν ότι η πρόσθετη τεχνολογία και οι προσαρμογές στις υφιστάμενες τεχνικές του καθεστώτος θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το MLP δίνει σημαντική έμφαση στα τεχνολογικά niches ως τον κύριο φορέα για την αλλαγή καθεστώτος στη διαδικασία μετάβασης (Berkhout et al., 2004; Geels 2011). Ωστόσο, δύναται να αξιοποιηθεί και για την ανάλυση του μετασχηματισμού του καθεστώτος και όχι μόνο των niches (Geels 2014). Ωστόσο, όπως παρατηρήσαμε και στο Κεφάλαιο 2, η πλήρης σύνδεση με ποσοτικά μοντέλα είναι δύσκολη.

Εδώ, αναγνωρίζοντας την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των τριών επιπέδων του MLP αλλά πολλές φορές και μεταξύ των ίδιων των πολιτικών (Oikonomou et al., 2012; Oikonomou et al., 2014), αξιοποιούμε αυτές τις ιδέες χρησιμοποιώντας το πλαίσιο MLP για να μελετήσουμε την ιστορική εξέλιξη της μετάβασης του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προς την απανθρακοποίηση, λαμβάνοντας υπόψη τον μετασχηματισμό του υφιστάμενου καθεστώτος, που οδηγείται από τη σταδιακή κατάργηση του λιγνίτη και ιδιαίτερα το ρόλο της οικονομικής κρίσης του 2008-2009 σε αυτή την πορεία, αντί να εστιάζουμε απλώς στη σταδιακή εισαγωγή εξειδικευμένων τεχνολογιών. Έτσι εξετάζουμε τους παράγοντες του

ευρύτερου τοπίου που επηρεάζουν το σύστημα, για να κατανοήσουμε πώς η καθιέρωση των niches εξαρτάται από αυτούς τους παράγοντες. Οι παράγοντες τοπίου μπορούν να εμποδίσουν την ανάπτυξη εξειδικευμένων niches, αλλά μπορούν επίσης να δημιουργήσουν σοβαρά εμπόδια για τη συνέχιση της υφιστάμενης πορείας του καθεστώτος, δημιουργώντας ένα πιο φιλικό περιβάλλον για τη διείσδυση εξειδικευμένων τεχνολογιών (Köhler et al. , 2019). Η ανάλυση της προόδου που έχει επιτευχθεί μέχρι στιγμής παράσχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με κύριους μοχλούς αλλαγής και τις δυσκολίες που επηρεάζουν ή παρεμποδίζουν τη μετάβαση, καθώς επίσης ρίχνει φως στις οδούς που πρέπει να ακολουθηθούν μετά την εξεταζόμενη περίοδο για την επίτευξη των προβλεπόμενων στόχων με κοινωνικά δίκαιο τρόπο.

5.4 Το ελληνικό καθεστώς και οι παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος

Μια σύντομη ματιά στα γεγονότα που προηγήθηκαν της εξεταζόμενης περιόδου (πριν το 1990), για την οποία υπάρχει μικρή διαθεσιμότητα και συνέπεια δεδομένων (Doukas et al., 2007), δείχνει ότι η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστάθηκε το 1889, ενώ το 1950 ιδρύθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) για να καταστήσει την ηλεκτρική ενέργεια ευρέως διαθέσιμη μέσω της πρώτης μονάδας καύσης λιγνίτη στο Αλιβέρι, των υδροηλεκτρικών σταθμών στα ποτάμια Άγρας, Λάδωνας και Λούρος το 1955, και τις νέες μονάδες ντίζελ που εγκαταστάθηκαν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μη διασυνδεδεμένα νησιά (συμπεριλαμβανομένης της Κρήτης) (Papadopoulow, 2018) το 1956. Το 1969 ξεκίνησε η εκμετάλλευση ενός ακόμη λιγνιτικού αποθέματος στη Μεγαλόπολη (ΙΕΝΕ, 2012), ενώ το πρώτο αιολικό πάρκο χρονολογείται περί του 1980 στην Κύθνο (Fotiadi, 2009).

5.4.1 Η περίοδος πριν την οικονομική κρίση

<u>Καθεστώς</u>

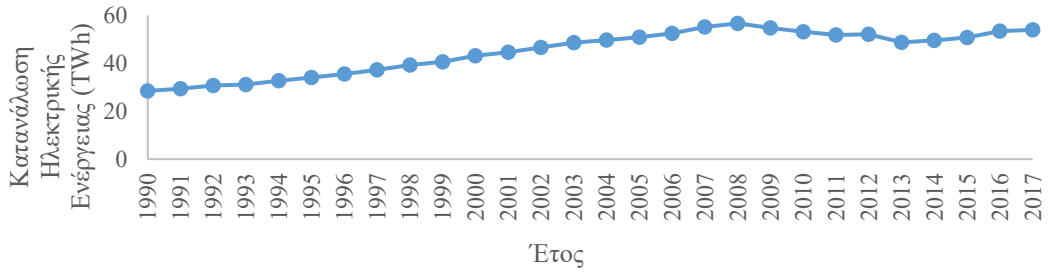
Κατά την πρώτη περίοδο (1990-2008), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αυξανόταν σταθερά (Εικόνα 5.2α), κυρίως λόγω της οικονομικής ανάπτυξης, της αύξησης του πληθυσμού και της αύξησης της θερμοκρασίας (Asimakopoulos et al., 2012). Το 2008, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν διπλασιάστηκε σε σύγκριση με το 1990, ενώ η παραγωγή αυξήθηκε κατά 82%. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη αντιπροσώπευε το 72% της συνολικής παραγωγής στην αρχή αυτής της περιόδου, ενώ μειώθηκε σταδιακά στο 52% στο τέλος της περιόδου, με το φυσικό αέριο να κερδίζει έδαφος (22%) (IEA, 2017) (Εικόνα 5.2β). Μέχρι το 1990, είχαν κατασκευαστεί είκοσι μονάδες καύσης λιγνίτη, ενώ μία είχε ήδη

κλείσει. Την περίοδο 1990-2008 κατασκευάστηκαν άλλες τρεις μονάδες και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ήταν 4,776 MW. Στην Εικόνα 2γ παρουσιάζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά έτος για κάθε τεχνολογία (συμβατική και ΑΠΕ) τόσο για το διασυνδεδεμένο όσο και για το μη διασυνδεδεμένο σύστημα.

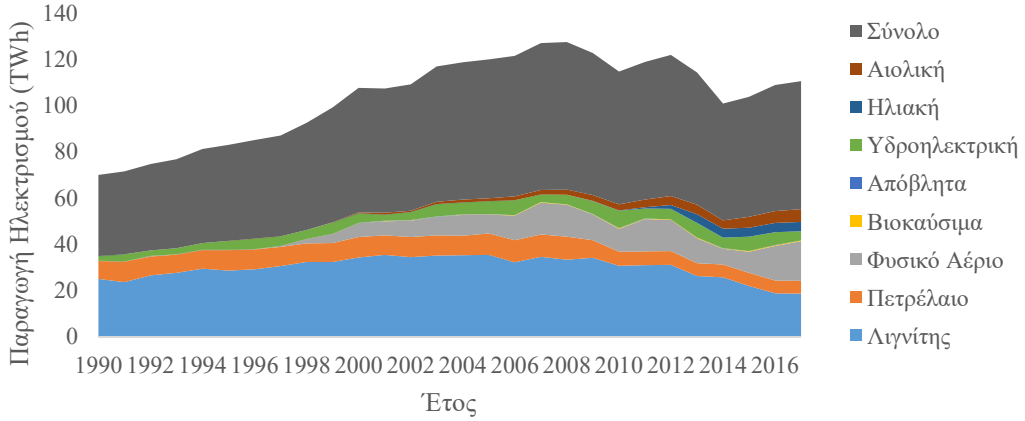
Η πρώτη μονάδα καύσης φυσικού αερίου εγκαταστάθηκε στο Λαύριο Αττικής το 1996, ισχύος 174MW (Kaldellis et al., 2005). Η εγκατάσταση αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο για τον ελληνικό ενεργειακό τομέα, λόγω της μέχρι τότε αποκλειστικής εξάρτησης από την καύση λιγνίτη. Η χρήση φυσικού αερίου υπονόμευσε εν μέρει την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας, αλλά παρήγαγε λιγότερες εκπομπές CO2 σε σύγκριση με τον λιγνίτη. Κατά την περίοδο αυτή εγκαταστάθηκαν εννέα σταθμοί συνολικής ισχύος 2,794MW (LAGIE, 2019α).

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν με βάση την ισχύ τους, σε μικρούς και μεγάλους σταθμούς. Κατά την περίοδο αυτή, οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ανήλθαν σε 3,017MW (ΤΕΕ, 2016) και σε συνδυασμό με τις μικρές μονάδες συμμετείχαν κατά μέσο όρο με ποσοστό 8% επί της συνολικής παραγωγής (IEA, 2017). Επιπλέον, τέσσερις μονάδες ντίζελ συνολικής ισχύος 698MW, λειτούργησαν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΛΑΓΗΕ, 2015).

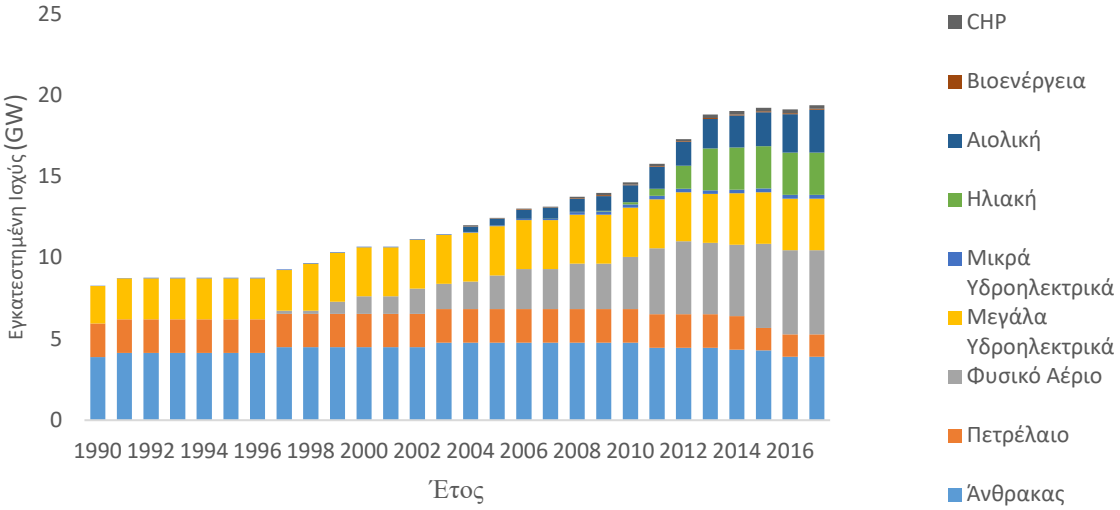
Σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος ήταν ότι 33 νησιά του Αιγαίου δεν ήταν διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα και έτσι 35 πετρελαιοκίνητες μονάδες συνολικής ισχύος 1,367MW λειτουργούσαν αυτόνομα, για την κάλυψη των τοπικών αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας (ΡΑΕ 2001). Τα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικό μέρος του ελληνικού ενεργειακού τομέα, αντιπροσωπεύοντας το 10% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και εξυπηρετώντας το 15% του πληθυσμού της χώρας (Hatziargyriou et al., 2017). Οι μονάδες ντίζελ, τόσο στο διασυνδεδεμένο όσο και στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα, ανήλθαν κατά μέσο όρο στο 18% της παραγωγής (IEA, 2017).



α)



β)



γ)

Εικόνα 5.2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (α), παραγωγή (β) και συνολική εγκατεστημένη ισχύς (γ) στην Ελλάδα, 1990-2017

Στις αρχές αυτής της περιόδου, η απελευθέρωση της αγοράς ΑΠΕ ξεκίνησε το 1994 (Agoris et al., 2004), σε μια πρώτη προσπάθεια δημιουργίας ενός πιο πράσινου ενεργειακού μείγματος. Ήδη από το 1999 παρατηρήθηκε εντυπωσιακή αύξηση της αιολικής ενέργειας (Kaldellis, 2005), σηματοδοτώντας τη διείσδυσή της στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την έναρξη μεγάλης κλίμακας παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας στην Ελλάδα. Το 2006, η ελληνική νομοθεσία ενσωμάτωσε ένα πλαίσιο διείσδυσης των φωτοβολταϊκών πάρκων στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας (Giannini et al., 2015), προκειμένου να αρχίσει η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, δεδομένου ότι η Ελλάδα συγκαταλέγεται μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών με τις υψηλότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας (Celik et al., 2009). Το μερίδιο των αιολικών πάρκων, που αντιπροσώπευαν το 0.01% στην αρχή αυτής της περιόδου, αυξήθηκε σταθερά στο 3.5% (IEA, 2017). Η συνολική ισχύς των αιολικών πάρκων στο τέλος της περιόδου ήταν 791MW (ΛΑΓΗΕ, 2019γ). Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί είχαν ισχύ 158MW (LAGIE, 2019c), ενώ τα βιοκαύσιμα συνεισέφεραν το 0.3% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το 2008 (IEA, 2017). Η πρώτη μονάδα βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε το 2001 (IEA, 2017), καίγοντας γεωργικά απόβλητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ ήταν ο μοναδικός ιδιοκτήτης του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας το 2007. Το σύστημα μεταφοράς αποτελούνταν από γραμμές μήκους 11,500 χιλιομέτρων, μονού κυκλώματος 66kV καθώς και γραμμές μονού και διπλού κυκλώματος 150kV και 400kV (Lioutas et al., 2007), με την τελευταία να μεταφέρει ενέργεια που παράγεται στη Βόρεια προς την Κεντρική και Νότια Ελλάδα, όπου συγκεντρωνόταν το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρικού φορτίου (Orfanos et al, 2019). Εκείνη την εποχή, η νότια Πελοπόννησος αποτελούνταν κυρίως από γραμμές 150kV, οι οποίες μετέφεραν την ενέργεια που παρήγαγε η Μεγαλόπολη 1 και 2 (Lioutas et al., 2007).

Ο κύριος παράγοντας στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας για αρκετά χρόνια ήταν η ΔΕΗ, ο μεγαλύτερος παραγωγός και προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και υπεύθυνος για το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία χρόνια, αποτελούμενο από συμβατικές θερμικές, υδροηλεκτρικές μονάδες και μονάδες ΑΠΕ. Η ΔΕΗ αποτελούσε μονοπώλιο μέχρι το 2004, μετά το οποίο κάθε μη οικιακός καταναλωτής μπορούσε να επιλέξει τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ολοκληρώθηκε το 2007 όταν επεκτάθηκε η επιλογή προμηθευτή στους οικιακούς καταναλωτές (ΡΑΕ, 2019α).

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ιδρύθηκαν τέσσερις νέες εταιρείες για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά: Zenith (2000), Heron (2001), Protergia (2001), και Elpedison (2006). Άλλοι ενεργειακοί παράγοντες του συστήματος (Doukas et al., 2008), όπως εξωτερικοί προμηθευτές και παραγωγοί, στόχευαν στη ρύθμιση, την παρακολούθηση ή την υποστήριξη της αγοράς και των συναφών δραστηριοτήτων του ενεργειακού τομέα, όπως η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Η ΡΑΕ, που ιδρύθηκε το 1999, είναι η ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή για την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο, ενώ το ΚΑΠΕ, που ιδρύθηκε το 1987, είναι ο εθνικός φορέας για τις ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας, και διαθέτει οικονομική και διοικητική αυτονομία, με στόχο την προώθηση εφαρμογών σε εθνικό και διεθνές για και τη μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης στην παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.

Άλλοι οργανισμοί που συνέβαλαν στην αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Παραγωγών Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, μια μη κερδοσκοπική εταιρεία που ιδρύθηκε το 1997 και αποτελείται από εταιρείες στον τομέα των ΑΠΕ και στοχεύει στην προώθηση σχετικών τεχνολογιών, και ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, μια αστική μη κερδοσκοπική εταιρεία που ιδρύθηκε το 2002 από τις κορυφαίες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή, εμπορία, εγκατάσταση και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα.

Οι νόμοι, ένα άλλο σημαντικό θεσμικό κομμάτι στο καθεστώς κάθε συστήματος, επηρεάζουν την ανάπτυξή του και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την πορεία του. Σύμφωνα με το Ν.1468/1950, η ΔΕΗ δημιουργήθηκε το 1950 με αποκλειστικά προνόμια στην κατασκευή, λειτουργία και εκμετάλλευση υδροηλεκτρικών και θερμικών σταθμών, καθώς και στο σύστημα μεταφοράς και διανομής. Μισό αιώνα αργότερα, με το Ν. 2773/1999, έγινε μια πρώτη προσπάθεια να ανοίξει η αγορά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέποντας στους ιδιώτες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και συμβατικές πηγές. Την ίδια περίοδο συγκροτήθηκε η ΡΑΕ ως ανεξάρτητη και αυτόνομη διοικητική αρχή για τη ρύθμιση του ενεργειακού συστήματος και η ΔΕΗ μετατράπηκε σε Ανώνυμη Εταιρεία. Ένα χρόνο αργότερα, ιδρύθηκε ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) για να λειτουργήσει και να διασφαλίσει τη συντήρηση και ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος ανήκε πλειοψηφικά στο κράτος (51%) και μειοψηφικά στους παραγωγούς (49%). Το άνοιγμα της αγοράς επεκτάθηκε, από την παραγωγή έως την προμήθεια, με το Ν. 3175/2003

τροποποιώντας το Ν. 2773/1999 σε απάντηση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2003/54/ΕΚ, ώστε να μπορεί κάθε μεμονωμένος οικιακός πελάτης να επιλέξει την πηγή της καταναλισκόμενης ενέργειας από το 2007, ενώ για τους μη οικιακούς πελάτες, η επιλογή ήταν διαθέσιμη από το 2004. Ο νόμος 3468/2006 τέλος, έδωσε προτεραιότητα στην έγχυση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και ανεξάρτητους παραγωγούς, εισάγοντας τον ενεργειακό συμψηφισμό (net metering), ενώ καθόρισε ένα μοντέλο σταθερών εγγυημένων τιμών (feed-in-tariff - FIT).

Ευρύτερο Περιβάλλον

Το ελληνικό καθεστώς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια σύνθετη και κεντρική συνιστώσα του ελληνικού ενεργειακού τομέα εντός της τοπολογίας του MLP και ως εκ τούτου, επηρεάζεται από ένα ευρύ φάσμα εξωγενών παραγόντων από το ευρύτερο περιβάλλον, οι οποίοι είναι τεχνικής, κοινωνικής, οικονομικής και πολιτικής φύσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, σε αυτήν την ανάλυση, αναγνωρίζουμε ότι τα όρια μεταξύ καθεστώτος και τοπίου μπορεί να είναι θολά κατά καιρούς (Upham et al., 2014): η πολιτική και οι κανονισμοί, ειδικότερα, μπορούν να θεωρηθούν τόσο ως κινητήριες δυνάμεις εξειδικευμένων εξελίξεων όσο και ως διαδικασίες σε μακροοικονομικό επίπεδο που σχετίζονται με παράγοντες προεχόμενοι τόσο από το καθεστώς και το ευρύτερο περιβάλλον. Εδώ, ωστόσο, κατατάσσουμε με συνέπεια τη νομοθεσία ως μέρος του ελληνικού καθεστώτος και επισημαίνουμε μόνο ρυθμιστικούς παράγοντες (όπως π.χ., αποφάσεις σε επίπεδο ΕΕ) ως παράγοντες του ευρύτερου περιβάλλοντος.

Ένας από τους κύριους παράγοντες του τοπίου ήταν τα άφθονα εγχώρια αποθέματα λιγνίτη, τα οποία ελαχιστοποίησαν την ανάγκη για εισαγωγές και ως εκ τούτου ενίσχυσαν την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η Ελλάδα ήταν ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός λιγνίτη στην ΕΕ και τέταρτος στον κόσμο, εξορύσσοντας ετησίως 70Mt (Kavouridis, 2008). Η καύση του λιγνίτη θεωρήθηκε μια πολύ συμφέρουσα επιλογή παραγωγής ενέργειας, ειδικά μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο και τον Ελληνικό Εμφύλιο Πόλεμο, λόγω των οποίων είχε επιδεινωθεί σοβαρά η εθνική οικονομία τη δεκαετία του 1940. Δεκαετίες αργότερα εξακολουθούσε να θεωρείται μοχλός οικονομικής ανάπτυξης και ενεργειακής ασφάλειας, παρά το περιβαλλοντικό αποτύπωμά του (Kolovos, 2006). Η εκμετάλλευση του λιγνίτη έχει διαμορφώσει και τη δομή του ηπειρωτικού δικτύου μεταφοράς, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου κατασκευάστηκε έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των συγκεντρωμένων λιγνιτικών μονάδων να μεταφέρεται εύκολα σε όλη τη χώρα,

συμβάλλοντας έτσι στον τεχνολογικό εγκλωβισμό και στην εν δυνάμει εμφάνιση φαινομένων lock-in. Έτσι, σε συνδυασμό με το μέρος του πληθυσμού που βρίσκεται στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (15%; Spilanis, 1999), οδήγησε στην καθυστέρηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό μείγμα.

Σε αυτή την περίοδο, η κλιματική αλλαγή άρχισε επίσης να εμφανίζεται ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της κοινωνίας μας και ως εκ τούτου έλαβε κοινωνική και πολιτική προσοχή με στόχο την αποφυγή των επικίνδυνων συνεπειών της. Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να καταβάλλει προσπάθειες για τη στροφή σε πιο βιώσιμους ενεργειακούς πόρους, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, και για την υποκατάσταση του άνθρακα με φυσικό αέριο. Οι προσπάθειες αυτές προωθήθηκαν περαιτέρω από το πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ, με τη θέσπιση του συστήματος εμπορίας εκπομπών (το 2005) προς το τέλος αυτής της πρώτης περιόδου (Neuhoff et al., 2006) και με τους κανονισμούς και τις οδηγίες για τους τομείς υψηλής έντασης άνθρακα (van der Gaast et al., 2013), με τους οποίους το εθνικό πλαίσιο προσπάθησε να εναρμονιστεί. Ο αντίκτυπος ήταν ορατός στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (Papadelis et al., 2013) ήδη από τον πρώτο χρόνο εφαρμογής του. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2β η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη το 2006 μειώθηκε κατά 6% σε σχέση με το 2005. Το 2007, η ΕΕ έθεσε επίσης τους περιβαλλοντικούς της στόχους για το 2020, συμπεριλαμβανομένου του μετριασμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%, της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% και της διείσδυσης των ΑΠΕ κατά 20% στο ενεργειακό μείγμα (Da Graça Carvalho, 2012). Ένα άλλο σημαντικό ορόσημο για τον ελληνικό τομέα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν η νομοθεσία του εθνικού σχεδίου του 2002 για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στο 20% έως το 2010, κυρώνοντας έτσι τις δεσμεύσεις της συμφωνίας του Κιότο (Chalvatzis and Hooper, 2009).

Η απελευθέρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 1999 (ΡΑΕ, 2019α) αποτέλεσε ένα ακόμη συμβάν του ευρύτερου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα αρκετές μονάδες φυσικού αερίου να αντικαταστήσουν εν μέρει την καύση λιγνίτη. Η δημιουργία το 2003 ενός υποχρεωτικού συστήματος συγκέντρωσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη χονδρική προμήθεια στο ηπειρωτικό δίκτυο υποχρέωσε όλους τους προμηθευτές να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από την κοινοπραξία, και τους σταθμούς να λειτουργούν βάσει επιλογής προσφοράς. Η δυνατότητα αυτή δόθηκε στους οικιακούς καταναλωτές του ηπειρωτικού δικτύου τρία χρόνια αργότερα (Iliadou, 2009).

Όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια, ο εφοδιασμός της Ελλάδας με φυσικό αέριο εξαρτιόταν πλήρως από τις εισαγωγές από τη Ρωσική Ομοσπονδία (μέσω των ελληνοβουλγαρικών συνόρων) και την Αλγερία (σε υγρή μορφή) (RAE, 2019β), καθιστώντας το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας εν μέρει εξαρτημένο από τις διπλωματικές σχέσεις με τις χώρες αυτές. Ως εκ τούτου, η Ελλάδα έγινε περισσότερο ευάλωτη σε πολιτικές και οικονομικές πιέσεις, καθώς τέτοιοι μοχλοί είχαν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης (Antosiewicz et al., 2019) ή είχαν χρησιμοποιηθεί για να μετατοπιστεί η γεωπολιτική ισχύς στην περιοχή (Vapur and Top, 2017). Σχετικές τέτοιες ενέργειες είναι εμφανείς και στην πρόσφατη ενεργειακή κρίση του 2022-2023.

Τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας ο οποίος βρίσκεται στο όριο της περιόδου που συζητείται αποτελεί η παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2007-2008 που επηρέασε σοβαρά αρκετές οικονομίες (Ivashina και Scharfstein, 2010) αλλά και την επενδυτική ικανότητα πολλών μη χρηματοπιστωτικών επιχειρήσεων (Gao και Yun, 2009). Όντας μεταξύ των χωρών που επλήγησαν σκληρά από την ύφεση (Nikas et al., 2019), η Ελλάδα εισήλθε σε μακροχρόνια οικονομική κρίση, η οποία επηρέασε το ηλεκτρικό της σύστημα (Doukas et al., 2014) κυρίως κατά τη δεύτερη υπό εξέταση περίοδο.

5.4.2 Εξελίξεις κατά τη διάρκεια και μετά την ύφεση

Καθεστώς

Μετά την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα αναμενόμενα παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας (Εικόνα 5.2). Συγκεκριμένα το 2009, η κατανάλωση μειώθηκε κατά 3,4% σε μόλις ένα έτος και στη συνέχεια συνέχισε να μειώνεται έως το 2013, φθάνοντας σε μείωση κατά 14% σε σύγκριση με το 2008, πριν αρχίσει να ανακάμπτει το 2014, ενώ το 2017 ήταν μόλις 5% χαμηλότερη από ό,τι το 2008 (IEA, 2017). Οι επιπτώσεις αυτές αντικατοπτρίστηκαν και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, μετά το 2014, όταν περισσότερο από το ήμισυ της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προερχόταν από λιγνίτη, το μερίδιο του λιγνίτη στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να συρρικνώνεται. Στο τέλος αυτής της περιόδου, το 2017, το μερίδιο του ανήλθε μόλις 34% (IEA, 2017) με το κλείσιμο 8 λιγνιτικών μονάδων, συνοδευόμενο από αντίστοιχη αύξηση του φυσικού αέριο. Η εναπομένουσα ισχύς του λιγνίτη ήταν 3,912MW (LAGIE, 2019α). Το φυσικό αέριο κέρδισε έδαφος, όπως αποτυπώνεται στην κατασκευή πέντε νέων μονάδων φυσικού αερίου για τρεις παλαιές που έκλεισαν, φθάνοντας σε συνολική ισχύ 5,188MW το 2017 και μερίδιο 31% της

παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (LAGIE, 2015; Argyriadis and Botanaki, 2006). Οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ανήλθαν σε 3,172MW κατά την περίοδο αυτή (ΤΕΕ, 2016), ενώ οι μονάδες ντίζελ στο μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό σύστημα αντιπροσώπευαν το 10% της συνολικής παραγωγής το 2017, με λίγες μόνο να αντικαθίστανται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτές τις μονάδες του μη διασυνδεδεμένου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βαρύ μαζούτ αποτελούσε το 81.3%, η αιολική το 13.45% και η ηλιακή το 5.25% της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη το 2016 (Orfanos et al., 2019), καθιστώντας την Ελλάδα με ανεπαρκή αποθέματα πετρελαίου εξαρτημένη από τις εισαγωγές και στο κομμάτι του πετρελαίου (Tsirambides and Filippidis, 2012).

Το 2011, το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άλλαξε δραστικά λόγω της ξαφνικής διείσδυσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο (Kyritsis et al., 2017), συμβάλλοντας στην ενεργειακή ανεξαρτησία και τη μείωση των εκπομπών. Οι ΑΠΕ είχαν αρχίσει να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο μετά το 2009, κυρίως λόγω της αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική και ηλιακή ενέργεια. Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί διατήρησαν σταθερή συνεισφορά καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου και μάλιστα με μικρή αύξηση (IEA, 2017). Η δυναμικότητα των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών στο διασυνδεδεμένο σύστημα αυξήθηκε στα 230MW (αύξηση 46%) (LAGIE, 2019γ). Η υδροηλεκτρική ενέργεια εμφανίστηκε και στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα συνολικής ισχύος 1.35MW (ΛΑΓΗΕ, 2019β). Η αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε το 10% στο τέλος του 2017 με συνολική ισχύ 2,300MW στο διασυνδεδεμένο (LAGIE, 2019γ) και 323MW στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα (LAGIE, 2019β). Τα φωτοβολταϊκά αυξήθηκαν κατά 79%, φθάνοντας το 7% της συνολικής παραγωγής: στο διασυνδεδεμένο σύστημα υπήρχαν 2,445MW ηλιακής ενέργειας σε πάρκα και στέγες (LAGIE, 2019c). ενώ στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα η ηλιακή ενέργεια έφτασε μόνο τα 160MW (ΛΑΓΗΕ, 2019β). Στο τέλος του 2017, η βιοενέργεια αποτελούσε περίπου το 0.56% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, σημειώνοντας αύξηση 62% (IEA, 2017).

Όσον αφορά το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το 2011, ο Νόμος 4001/2011 μεταβίβασε τη διαχείρισή του δικτύου στον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ). Έκτοτε, δεν έχουν υπάρξει σημαντικές αλλαγές στο σύστημα, το οποίο εκτείνεται σε 11,232 χιλιόμετρα μέχρι το 2013. Το δίκτυο βασιζόταν κυρίως σε εναέριες γραμμές 150kV και 400kV, ενώ για τη σύνδεση με το νησί της Κέρκυρας χρησιμοποιήθηκαν γραμμές 66kV (ΙΡΤΟ, 2019α). Επιπλέον, το ελληνικό σύστημα διασυνδέθηκε και εξακολουθεί να είναι διασυνδεδεμένο μέσω γραμμών 400kV με την Αλβανία, τη Βόρεια Μακεδονία, τη

Βουλγαρία και την Τουρκία και μέσω γραμμής συνεχούς ρεύματος με την Ιταλία (ENTSO-E, 2019).

Κατά τη δεύτερη περίοδο και μέχρι το 2017, εννέα ιδιωτικές εταιρείες ιδρύθηκαν για την παροχή υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας (Πίνακας 5.7), ενώ οι προηγούμενοι φορείς εξακολουθούν να λειτουργούν, αυξάνοντας σημαντικά των αριθμό των παραγόντων στο καθεστώς του MLP.

Πίνακας 5.7. Προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας (2009-2017)

Όνομα	Έτος ίδρυσης
GREEN	2009
VOLTERRA SA	2010
KEN	2010
EKO ABEE	2011
WATT & VOLT	2011
CORAL ENERGY SA	2012
VOLTON HELLENIC ENERGY SA	2016
ELTA	2017
Natural Gas Hellenic Power Company	2017

Σημαντικό γεγονός αυτής της περιόδου αποτελεί η αυτονόμηση δύο τμημάτων της ΔΕΗ το 2010, με τον ΑΔΜΗΕ να αναλαμβάνει τη διαχείριση, λειτουργία, ανάπτυξη και συντήρηση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των διασυνδέσεών του, και τον Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) να είναι υπεύθυνος για το δίκτυο διανομής και τη διαφανή και αμερόληπτη πρόσβαση σε όλους τους χρήστες.

Όπως και πριν, υπάρχουν φορείς του καθεστώτος που δεν εμπίπτουν στις κατηγορίες προμηθευτών ή παραγωγών, αλλά δραστηριοποιούνται για τη ρύθμιση, την παρακολούθηση ή τη στήριξη της αγοράς και των συναφών δραστηριοτήτων του ενεργειακού τομέα. Την περίοδο αυτή δημιουργήθηκαν τέσσερις νέοι: ο Διαχειριστής της Αγοράς Ηλεκτρισμού (ΛΑΓΗΕ) (πριν τη πλήρη μετατροπή του σε Διαχειριστή ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης—ΔΑΠΕΕΠ–και τη δημιουργία του χρηματιστηρίου ενέργειας), που ιδρύθηκε το 2012 για να πραγματοποιεί τον καθημερινό ενεργειακό προγραμματισμό, να τηρεί ειδικό μητρώο συμμετεχόντων στην αγορά, να παρέχει πληροφορίες στους συμμετέχοντες και να προβαίνει σε ταμειακές διευθετήσεις; ο Σύνδεσμος Παραγωγών Φωτοβολταϊκής Ενέργειας, που ιδρύθηκε το 2009, με στόχο την

προστασία των συμφερόντων των παραγωγών φωτοβολταϊκής ενέργειας; ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Ανεξάρτητων Ηλεκτροπαραγωγών ως μια πρωτοβουλία των μεγαλύτερων ιδιωτικών εταιρειών ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την προώθηση της παραγωγής και διανομής πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την απελευθέρωση της αγοράς για όλες τις πρωτογενείς μορφές ενέργειας, την ανάπτυξη ανεξάρτητων εταιρειών ηλεκτρικής ενέργειας με σύγχρονες εγκαταστάσεις και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας; και ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Εταιριών Εμπορίας και Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας, που ιδρύθηκε το 2015 για να βοηθήσει στην περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και να προωθήσει την απελευθέρωση.

Από νομική άποψη, με το νόμο 3734/2009 θεσπίστηκε μια μεθοδολογία τιμολόγησης της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία εισήγαγε σημαντική μείωση των FITs από το 2009 έως το 2014 και ένα νέο σύστημα που θα αντικαθιστούσε τα FITs την επόμενη περίοδο. Τα FITs, εξαιρουμένων των φωτοβολταϊκών, επαναπροσδιορίστηκαν με το νόμο 3851/2010, ο οποίος έθεσε επίσης εθνικό στόχο για το μερίδιο των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε τουλάχιστον 20% έως το 2020. Ο Νόμος 4001/2011, σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ, άλλαξε τη μορφή της αγοράς ενέργειας εισάγοντας τον ιδιοκτησιακό διαχωρισμό των δικτύων μεταφοράς και διανομής από την προμήθεια και την παραγωγή με τη δημιουργία ανεξάρτητων αρχών για τη λειτουργία, μεταφορά και διανομή ενέργειας και οδηγώντας στον διαχωρισμό των δραστηριοτήτων του ΔΕΣΜΗΕ σε ΑΔΜΗΕ και ΔΕΔΔΗΕ. Ο νόμος 4203/2013 – ΦΕΚ Α/235 θέσπισε το Μεταβατικό Τέλος Ασφάλειας Εφοδιασμού προκαλώντας πρόσθετη επιβάρυνση στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Λόγω της ύφεσης και των χαμηλών FITs, πολλές επενδύσεις ΑΠΕ μετατράπηκαν σε μη βιώσιμες, οδηγώντας με τη σειρά τους σε μείωση της νέας εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής ισχύος. Ο νόμος 4254/2014 επαναπροσδιόρισε εκ νέου τις FITs, καθορίζοντας το ετήσιο όριο των 200MWp που χρηματοδοτείται από το υφιστάμενο καθεστώς FIT έως το 2020. Ο νόμος 4342/2015 ενσωμάτωσε την Οδηγία 2012/27/ΕΕ, καθορίζοντας έναν οδικό χάρτη για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης 20% (Forouli et al., 2019). Ο νόμος 4336/2015 υπαγόρευε ότι καμία εταιρεία δεν πρέπει να παράγει περισσότερο από το 50% της ετήσιας παραγωγής και εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αντιστάθμισης που βασίζεται σε FITs αντικαταστάθηκε, μέσω του Νόμου 4414/2016, από το σύστημα Feed-in-Premium, όπου υπολογίστηκε μια πρόσθετη αύξηση στην τιμολόγηση με βάση το είδος της εγκατάστασης πάνω από την τιμή της αγοράς. Ο Νόμος 4425/2016 αναδιοργάνωσε την αγορά ενέργειας ρυθμίζοντας

την ίδρυση και λειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, μετά την εφαρμογή του Ν. 4389/2016, ο οποίος εισήγαγε την υποχρέωση της ΔΕΗ να πωλεί ενέργεια σε ανταγωνιστές σε τιμές χαμηλότερες του κόστους για τον περιορισμό της δεσπόζουσας θέσης της εταιρείας και την ενίσχυση του ανταγωνισμού. Το 2016, η ΔΕΗ ήρθε επίσης σε συμφωνία με την China Machinery Engineering Corporation για την κατασκευή μιας δεύτερης λιγνιτικής μονάδας στην περιοχή της Μελίτης στη Δυτική Μακεδονία, τη μονάδα Μελίτη ΙΙ (Tzogopoulos, 2017), εγείροντας αμφιβολίες για την αποφασιστικότητα της χώρας να εκπληρώσει τις δεσμεύσεις της για την ενέργεια και το κλίμα (Nikas et al., 2019). Η πρόοδος ανάπτυξης αυτού του σταθμού, ωστόσο, παρέμεινε σε πρόωρη φάση (Nikas et al. , 2018). Ο νόμος 3468/2006 τροποποιήθηκε το 2017 ώστε να επιτρέπεται ο εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός για παραγωγή σε εγκατάσταση διαφορετική από την κατανάλωση. Η οδηγία 2012/27/ΕΕ τροποποιήθηκε από την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση (2018/2002), θεσπίζοντας νέους στόχους για το 2030, υποχρεώνοντας επίσης τις εταιρείες ενέργειας να βοηθούν τους πελάτες να επιτυγχάνουν ενεργειακή απόδοση 1,5 % ετησίως, αλλά αυτό δεν είχε ακόμη ενσωματωθεί στο εθνικό πλαίσιο έως το 2017. Τέλος, η Εθνική Επιτροπή Ενέργειας και Κλίματος συστάθηκε το 2017 με κύριο στόχο τη δημιουργία ενός Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).

Ευρύτερο Περιβάλλον

Αφετηρία αυτής της περιόδου στις εξελίξεις του ευρύτερου περιβάλλοντος είναι η έναρξη της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα, η οποία ξεκίνησε το φθινόπωρο του 2009 ως κρίση χρέους (Gibson et al., 2012), οδηγώντας σε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σε ληξιπρόθεσμες οφειλές λογαριασμών κοινής ωφέλειας, προκαλώντας προβλήματα ρευστότητας στη ΔΕΗ (Azam et al., 2016). Η χρηματοπιστωτική κρίση, η οποία είχε σοβαρό αντίκτυπο στην ελληνική οικονομία και κοινωνία, επηρέασε επίσης την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Doukas et al., 2014), καθώς η ζήτηση ενέργειας στη βιομηχανία και τα νοικοκυριά μειώθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. ενώ, λόγω οικονομικής δυσπραγίας, πολλά νοικοκυριά δεν μπόρεσαν να στηρίξουν επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας (Spiliotis et al., 2020).

Σε σύγκριση με τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η ύφεση στην Ελλάδα επηρέασε σημαντικά τη δημοσιονομική ατζέντα σχεδόν σε κάθε πτυχή της πολιτικής δράσης, και συνεπώς την πολιτική σταθερότητα. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν η εφαρμογή των τριών δημοσιονομικών προγραμμάτων προσαρμογής μεταξύ της εθνικής κυβέρνησης και της ΕΕ, του

Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου και της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας, με τη θέσπιση διαφόρων μέτρων προκειμένου η ελληνική οικονομία να επιτύχει πλεόνασμα στον κρατικό προϋπολογισμό, επιβάλλοντας μέτρα λιτότητας (Koukiadaki and Kretsos, 2012) που επηρέασαν πολλούς δημόσιους και ιδιωτικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένου του ενεργειακού τομέα. Για παράδειγμα, το μνημόνιο απαιτούσε μερική ιδιωτικοποίηση αρκετών δημόσιων επιχειρήσεων, συμπεριλαμβανομένης της ΔΕΗ (Hatalis, 2012) και την απελευθέρωση της αγοράς που ολοκληρώθηκε το 2011 με την ίδρυση του ΔΕΔΔΗΕ και του ΑΔΜΗΕ (Danias et al., 2013). Το 2012 και μετά από ελάχιστη–αν όχι καθόλου–βελτίωση της οικονομίας της χώρας, το δεύτερο Μνημόνιο οδήγησε σε μείωση των επενδύσεων ΑΠΕ, αναστέλλοντας τη βελτίωση του εθνικού ενεργειακού μείγματος, και στη θέσπιση διαφόρων μέτρων που θεωρήθηκαν ότι καθιστούν τις επενδύσεις ΑΠΕ λιγότερο αποδοτικές (Eleftheriadis and Anagnostopoulou, 2015). Σύμφωνα με το τρίτο μνημόνιο, που υπογράφηκε το 2015 για τη νομοθέτηση δημοσιονομικών μέτρων για την περαιτέρω αντιμετώπιση της κρίσης χρέους (Kotroyannos et al., 2017), προκειμένου να ολοκληρωθεί η απελευθέρωση του ενεργειακού συστήματος, καμία εταιρεία δεν θα έπρεπε να παράγει και να εισάγει πάνω από το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας μέχρι το 2020, ενώ η ΔΕΗ ήταν υποχρεωμένη να δημοπρατήσει ορισμένους από τους παραγωγικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της (Konstantinidis and Vlachou, 2016).

Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας του 2009, στο πλαίσιο της προσπάθειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2020 (Sakellaridis et al., 2011), ήρθε σε αντίθεση με τη διερεύνηση της κατασκευής τριών νέων λιγνιτικών μονάδων, της Πτολεμαΐδας V, της Μελίτης ΙΙ και του Αγίου Δημητρίου VI και την επακόλουθη αύξηση της κυρίαρχης παρουσίας του λιγνίτη στο ελληνικό ενεργειακό μείγμα.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή πολιτική έγκειται στα κοινωνικά κινήματα διαμαρτυρίας. Παρά τις αυξανόμενες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και τις φωνές κατά της εκμετάλλευσης του λιγνίτη, υπήρξαν αρκετές κοινότητες στην Ελλάδα που αντιτάχθηκαν σθεναρά στην εγκατάσταση αιολικών σταθμών, υποστηρίζοντας ότι οι ανεμογεννήτριες δημιουργούν οπτική όχληση και επιδεινώνουν τη φυσική ομορφιά του τοπίου, σε συνδυασμό με τις ανησυχίες για τη διατάραξη του οικοσυστήματος και τις συνολικές παρεμβάσεις που είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση ενός αιολικού σταθμού.

Κατά την περίοδο 2012-2014, υπήρξαν διάφορες νομοθεσίες που υπονόμευαν τη ραγδαία ανάπτυξη των επενδύσεων ΑΠΕ, και ιδίως των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις,

όπως το άμεσο πάγωμα των διαδικασιών αδειοδότησης, έναν νέο φόρο το 2013 (ΕΤΜΕΑΡ), μετακυλίοντας μέρος του κόστους στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, και δύο διαδοχικές μειώσεις στα προγράμματα FIT το 2014 που συνέβαλαν στην ανάσχεση της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (Giannini et al., 2015; Papadelis et al., 2016).

Το 2013, το EU ETS εισήλθε στην τρίτη, πιο ριζοσπαστική φάση του, κατά τη διάρκεια της οποίας καθορίστηκε ανώτατο όριο εκπομπών σε επίπεδο ΕΕ και ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υποχρεώθηκε να αγοράσει όλα τα δικαιώματα εκπομπών του (Bel and Joseph, 2015), το οποίο προκάλεσε μια ώθηση για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το 2015 και το 2016, η πρωτοποριακή συμφωνία του Παρισιού είχε ως αποτέλεσμα τη δέσμευση ανάληψης δράσης για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα (Falkner, 2016).

Το 2017, η ΕΕ δημιούργησε την πρωτοβουλία για τις περιφέρειες εξόρυξης άνθρακα υπό μετάβαση για να βοηθήσει τις χώρες και συγκεκριμένες περιοχές που εξαρτώνται από τον λιγνίτη να κλείσουν αυτές τις μονάδες χωρίς να προκαλέσουν αναταραχή στις τοπικές οικονομίες που βασίζονται στην εξόρυξη και εκμετάλλευση λιγνίτη (Collins, 2019). Στην Ελλάδα, το εγχείρημα αυτό αφορά κυρίως τις περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας και της Μεγαλόπολης.

5.5 Ανανεώσιμες και άλλες μορφές ενέργειας που διαταράσσουν το καθεστώς

Στην Ελλάδα, ο λιγνίτης εξακολουθεί να αποτελεί μια σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα, επηρεάζοντας την οικονομική ανάπτυξη, δεδομένου του ανταγωνιστικού κόστους του σε σύγκριση με άλλα εισαγόμενα καύσιμα και των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται στην εξόρυξη και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Tourkolias et al., 2009). Οι αστικές και λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές γύρω από τα ορυχεία προσέλκυσαν σταδιακά περισσότερους ανθρώπους και συνέβαλλαν στο να ευδοκιμήσουν (Kordas, 2006). Εκτός από την ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών, τα οικονομικά οφέλη της τοπικής αξιοποίησης του λιγνίτη μπορούν να αποτυπωθούν και στις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ενδεικτικά το 2005 ήταν κατά 52% χαμηλότερες από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, και στην μείωση των απωλειών κατά το εμπόριο και μεταποίηση ορυκτών καυσίμων (Kaldellis et al., 2009).

Συνεπώς, ο λιγνίτης είναι συνυφασμένος με κοινωνικοοικονομικά οφέλη, συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη και την απασχόληση (Badera and Kocoń, 2014), κάτι το οποίο γεννά

ανησυχίες αναφορικά με το κλείσιμο ορυχείων εξόρυξης επηρεάζοντας αρνητικά τις ζωές σε τοπική κλίμακα ιδίως των ανθρακωρύχων, των οικογενειών τους και των ατόμων που απασχολούνται σε συναφείς υπηρεσίες (Gurgul, 2011). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις τοπικές οικονομίες στην Ελλάδα: στη Μεγαλόπολη, ενδεικτικά, ο πληθυσμός παρέμεινε σε στασιμότητα μέχρι να ανακαλυφθούν τα υπόγεια αποθέματα τη δεκαετία του 1970 και να ξεκινήσει μια άνευ προηγουμένου οικονομική ανάπτυξη για την πόλη (Kaldellis et al., 2012).

Υπό αυτό το πρίσμα, η αντικατάσταση των λιγνιτικών μονάδων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσω επενδύσεων που λαμβάνουν υπόψιν και αντισταθμίζουν τις απώλειες στην ανάπτυξη και την οικονομία. Έτσι, μεγάλο ζητούμενο είναι οι νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ και άλλες επενδύσεις στην πράσινη ανάπτυξη να επιτρέψουν την αντικατάσταση πηγών ενέργειας υψηλής έντασης εκπομπών, να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και να δημιουργήσουν νέες, πράσινες ευκαιρίες εργασίας (Witajewski et al., 2019). Το σχέδιο για τη σταδιακή κατάργηση των ορυκτών καυσίμων, τα οποία εξακολουθούν να αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος, περιλαμβάνει τη μετάβαση σε φιλικές προς το κλίμα τεχνολογίες.

Εστιάζοντας στις ΑΠΕ ως βασικό όπλο μετριασμού στο καθεστώς ηλεκτροπαραγωγής, με το δυναμικό τους να είναι μεγάλο στην περιοχή της Μεσογείου χωρίς να έχει αξιοποιηθεί στο μέγιστο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή κυριαρχείται από τα ορυκτά καύσιμα. Η εγκατάσταση ΑΠΕ μεγάλης κλίμακας αλλά και διεσπαρμένης παραγωγής παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλότερο κόστος, η διατήρηση της μακροπρόθεσμης ανάπτυξης, η μείωση των λογαριασμών κοινής ωφέλειας στις χώρες που εισάγουν ενέργεια, η δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης, η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και η ενθάρρυνση της συνεργασίας μέσω της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των μεσογειακών χωρών και της ΕΕ (Belaïd και Zrelli, 2019). Εδώ, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως niches εντός του MLP εξετάζονται από την άποψη των επιδόσεων του κύκλου ζωής (life cycle assessment - LCA) τους στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία (στην τελευταία περίπτωση μέσω των θέσεων εργασίας που δημιουργούν), επιτρέποντας έτσι τη σύγκριση με τις συμβατικές πηγές (σε μια λογική αξιοποίησης της LCA προσέγγισης εντός του MLP).

<u>Αιολική ενέργεια</u>

Η χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια σχετικά νέα τεχνολογία, που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980, παρουσιάζοντας όμως ραγδαία ανάπτυξη παγκοσμίως την τελευταία δεκαετία (Enevoldsen and Xydis, 2019). Υπάρχουν δύο τύποι αιολικών τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας: χερσαίες, συνήθως εγκατεστημένες σε μεγάλο υψόμετρο όπως οι κορυφές των βουνών, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγόμενη ενέργεια; και υπεράκτιες, εγκατεστημένες στη θάλασσα για την αποφυγή εμποδίων στη ροή του ανέμου. Οι τελευταίες αποτελούν τη νεότερη εφαρμογή της τεχνολογίας αιολικής ενέργειας: έπονται χρονικά των χερσαίων (Vagiona and Kamilakis, 2018) και έχουν εγκατασταθεί κυρίως στη Βορειοδυτική Ευρώπη (Arantegui και Jäger-Waldau, 2018), στη Βόρεια, Ιρλανδική και Βαλτική Θάλασσα (Pantusa και Tomasicchio, 2019). Δεδομένου ότι η Ελλάδα δεν διαθέτει υπεράκτια αιολικά πάρκα μέχρι σήμερα, παρά την πλούσια αλλά ανεκμετάλλευτη ακτογραμμή της, είναι σημαντικό να εξεταστεί η επίδραση αυτής της τεχνολογίας στην Ελλάδα, με τους υπεράκτιους ανέμους να είναι πιο αποδοτικοί και λιγότερο στοχαστικοί και οι εγκαταστάσεις τους να χαρακτηρίζονται από μειωμένη ηχορύπανση και οπτική ρύπανση (Vagiona and Kamilakis, 2018) κάτι το οποίο βοηθά ιδιαίτερα στην κοινωνική αποδοχή, και με το Αιγαίο Πέλαγος να χαρακτηρίζεται από ισχυρούς ανέμους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και χαμηλή διακύμανση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου (Soukissian et al., 2017). Η περιβαλλοντική και χρηματοοικονομική ανάλυσή μας ωστόσο για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας λαμβάνει υπόψη μόνο τα χερσαία αιολικά πάρκα (εξαιτίας της έλλειψης εμπειρικών δεδομένων από την μη ύπαρξη εγκατεστημένων υπεράκτιων μονάδων), για τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8 οι κοινωνικο-περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι εκπομπές CO2 και το εξωτερικό κόστος και οι θέσεις εργασίας που διατηρούνται ανά στάδιο κύκλου ζωής. Κάθε χρόνο, υπάρχουν νέες εγκαταστάσεις πάρκων στην Ελλάδα (Kaldellis and Apostolou, 2018).

Πίνακας 5.8. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής αιολικής ενέργειας και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)	Άμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Έμμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Επαγόμενη απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Συνολική απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	8.2	0.16	160.3	88.2	66.3	314.8

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	0	0	136.9	61.6	74.7	273.2
Σύνολο	8.2	0.16	297.2	149.8	141	588

Η τιμή LCOE για χερσαία αιολικά πάρκα, σε καλές τοποθεσίες στην Ελλάδα, μπορεί να είναι χαμηλότερη από 60€/MWh, με βάση τις προσφορές δράσης του Απριλίου 2019 (New Climate Institute, 2019), η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από το LCOE ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα ή ενός σταθμού φυσικού αερίου.

Μια άλλη πολλά υποσχόμενη επιλογή για την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στη χώρα είναι η κατασκευή υβριδικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι συνδυάζουν την αιολική ενέργεια με την αποθήκευση. Σήμερα, υπάρχουν μόνο δύο τέτοιες εφαρμογές στην Ελλάδα, και λίγες παγκοσμίως, καθώς οι τεχνολογίες αποθήκευσης δεν βρίσκονται ακόμα σε ώριμο στάδιο (Katsaprakakis, 2016) και λόγω της έλλειψης αποτελεσματικών πλαισίων χρηματοδότησης που τις καθιστούν βιώσιμες και ανταγωνιστικές (Vasilakos, 2020). Υφιστάμενες προσπάθειες περιλαμβάνουν μια ανεμογεννήτρια 900kW με φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 160kWel και ένα σύστημα μπαταριών συνολικής ισχύος 3MW, στην Τήλο, και ένα αιολικό πάρκο ισχύος 2.7MW με δύο υδροηλεκτρικές ανεμογεννήτριες, στην Ικαρία, μαζί με σύστημα άντλησης νερού 2MW στον κάτω ταμιευτήρα του υδροηλεκτρικού σταθμού, για την αποθήκευση του πλεονάσματος αιολικής ενέργειας (Kaldellis, 2020).

Ηλιακή ενέργεια

Μια άλλη ευρέως εκμεταλλεύσιμη ανανεώσιμη πηγή, η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται κυρίως από φωτοβολταϊκά πάνελ και είναι σχετικά νέα, με ευρεία εφαρμογή από το 2008 στην Ευρώπη, η οποία είχε πρωτοποριακό ρόλο στην ανάπτυξή της. Παρόλο που η Ελλάδα θεωρείται ελκυστική αγορά ηλιακής ενέργειας (Stavrakas et al., 2019) και, μαζί με την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από ευνοϊκές καιρικές συνθήκες (De Felice et al. 2018), η φωτοβολταϊκή τεχνολογία διαδόθηκε με καθυστέρηση στη χώρα, σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ευρώπη, κυρίως μετά το 2011 (Arantegui and Jäger-Waldau, 2018).

Μια άλλη τεχνική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την ηλιακή ενέργεια είναι η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (CSP), η οποία εξαρτάται από τη θερμική ισχύ του ήλιου και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στην Ισπανία και τις ΗΠΑ (με συνδυασμένο μερίδιο 98% των παγκόσμιων εγκαταστάσεων). Παρά τις καιρικές συνθήκες και την ηλιακή ακτινοβολία

(Kabir et al. 2018), η Ελλάδα δεν διαθέτει μονάδες CSP (Achkari και El Fadar, 2020), με την τεχνολογία να έχει χαμηλή απόδοση στην Ελλάδα, εκτός από τις νότιες τοποθεσίες (Zafeiratou and Spataru, 2015) και για το λόγο αυτό μόλις δυο έργα έχουν λάβει δημοσιότητα (Fernández et al., 2019), αν και τα ελληνικά νοικοκυριά εκμεταλλεύονται γενικά την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ζεστού νερού μέσω ηλιακών θερμοσίφωνων (Martinopoulos and Tsalikis, 2018), με τη χώρα να αντιπροσωπεύει το 0.7% των ηλιακών συλλεκτών θέρμανσης νερού παγκοσμίως, το οποίο ισοδυναμεί με το μερίδιο της Ιαπωνίας και της Ιταλίας (Ge et al., 2018). Η ανάλυσή μας επικεντρώνεται αυστηρά στα φωτοβολταϊκά, όσον αφορά τις κοινωνικο-περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO2, του εξωτερικού κόστους και των θέσεων εργασίας ανά στάδιο κύκλου ζωής (Πίνακας 5.9).

Πίνακας 5.9. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής φωτοβολταϊκών και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)	Άμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Έμμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Επαγόμενη απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Συνολική απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	104	1.98	612.2	333.7	255.6	1201.5
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	0	0	146.8	56.4	98	301.2
Σύνολο	104	1.98	759	389.4	353.6	1502.7

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής δημιουργούν τον μεγαλύτερο αριθμό θέσεων εργασίας ανά TWh για την κατασκευή και τη λειτουργία τους, με το LCOE των φωτοβολταϊκών σταθμών να είναι χαμηλότερο από 70 €/MWh, καθώς το αρχικό επίπεδο δημοπρασίας του Ιουλίου 2019 ήταν 0,69 €/MWh (Jäger-Waldau, 2019). Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί έχουν επίσης τη δυνατότητα να συμβάλουν στον μετριασμό της απώλειας θέσεων εργασίας κατά την προβλεπόμενη μετάβαση. Ωστόσο, το κατά πόσο μπορεί να αξιοποιηθεί όλο αυτό το δυναμικό απασχολησιμότητας εγχώρια αποτελεί ένα κομβικό ζητούμενο.

Επιπλέον, πολλά πάνελ έχουν ήδη εγκατασταθεί σε στέγες σπιτιών, καλλιεργώντας τις προϋποθέσεις για ένα αποτελεσματικό πλαίσιο net-metering και αποκεντρωμένης παραγωγής (Stavrakas and Flamos, 2020; Michas et al., 2020). Μια σημαντική νομοθεσία, που εισήχθη το 2018, προσπάθησε να συνδυάσει τα φωτοβολταϊκά συστήματα με τη λειτουργία ενεργειακών

κοινοτήτων, στις οποίες ένας αριθμός νοικοκυριών μπορεί να εγκαταστήσει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και να χρησιμοποιήσει την παραγόμενη ενέργεια εκμεταλλευόμενος έναν τέτοιο μηχανισμό (Jager-Waldau et al., 2018).

Βιομάζα

Η βιομάζα είναι μία από τις λιγότερο αξιοποιημένες μορφές ΑΠΕ στην Ελλάδα, έχοντας εγκατεστημένη ισχύ γύρω στα 56.5MW. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι μονάδων ανάλογα με το είδος του βιοκαυσίμου που χρησιμοποιείται, που αφορούν υπολείμματα γεωργίας ανάλογα με τις τοπικές γεωργικές δραστηριότητες: οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με βιομάζα από υπολείμματα πορτοκαλιάς μπορούν να βρεθούν μόνο στους νομούς Λακωνίας και Αργολίδας; ενώ οι άλλοι δύο τύποι προσανατολίζονται στα υπολείμματα ελιάς, χρησιμοποιώντας είτε το κλάδεμα είτε τον αποξηραμένη συμπιεσμένη ελιά (Sagani et al., 2019). Εκτός από το χαμηλό αποτύπωμα σε επίπεδο εκπομπών, οι μονάδες βιομάζας συμβάλλουν επίσης στη διαχείριση των αποβλήτων, καθώς η σωστή απομάκρυνση και διάθεση των γεωργικών αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για πολλούς γεωργικούς νομούς και η βιομάζα επιτρέπει τον επιτυχή χειρισμό και διάθεση τους.

Οι εκπομπές ανά στάδιο κύκλου ζωής εμφανίζονται στον Πίνακα 5.10, μαζί με τις θέσεις εργασίας που δημιουργούνται. Το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα μιας μονάδας που λειτουργεί με βιομάζα είναι προφανώς σημαντικό, αλλά η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κοινού σε λιγνιτικές μονάδες μειώνοντας τις συνολικές εκπομπές (Drosatos et al., 2020) και το LCOE της (93 €/MWh) μπορεί να θεωρηθεί οικονομικά βιώσιμο λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται.

Πίνακας 5.10. Εκπομπές CO2 κατά τον κύκλο ζωής των μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)	Άμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Έμμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Επαγόμενη απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Συνολική απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	38.5	0.73	116.3	57	45	218.3

Παραγωγή Βιομάζας	72.5	1.35	363.2	130.8	136.5	630.5
Μεταφορά Βιομάζας	13.7	0.26				
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	0	0				
Σύνολο	124.7	2.37	479.5	187.8	181.5	848.8

Υδροηλεκτρική

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, με βάση τη δυναμικότητα και τις απαιτήσεις τους: μικροί (έως 10MW), που συνήθως βρίσκονται σε ποτάμια και απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου αποθήκευση νερού και επομένως δεν συνοδεύονται από την κατασκευή φράγματος (Arribas et al. 2019), και μεγάλα, που συνήθως απαιτούν την κατασκευή φράγματος ύψους 100 μέτρων και άνω (Efstratiadis, 2019). Μολονότι η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρική ενέργεια είναι απαλλαγμένη από εκπομπές, η κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών δεν είναι, όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 5.11. Ο ταμιευτήρας που δημιουργείται από το φράγμα αντικαθιστά μια συνήθως τεράστια έκταση γης, η οποία μπορεί να ήταν ο βιότοπος πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας, ή ακόμα και μια γεωργική περιοχή. Επομένως, ο σχηματισμός μιας δεξαμενής μπορεί να απειλήσει τη ζωή πολλών ζώων και φυτών ή ακόμα και την απόδοση των καλλιεργειών μιας περιοχής (World Commission on Dams 2000). Επιπλέον, η κατασκευή φραγμάτων μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του νερού του ποταμού που ρέει προς το φράγμα, ενώ ο σχηματισμός ταμιευτήρων μπορεί να διαβρώσει το έδαφος σε ορισμένες περιπτώσεις (Botelho et al., 2017; de Lima Andrade and dos Santos, 2015). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα παραπάνω εξαρτώνται από την τοπολογία και τη βιοποικιλότητα κάθε περιοχής. Η κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού πρέπει να λαμβάνει υπόψη πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες, προκειμένου να θεωρείται απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον, ώστε το συνολικό αποτύπωμα να μπορεί να θεωρείται αμελητέο, σε σύγκριση με άλλες επιλογές. Ανάλογα με το μέγεθος ενός σταθμού, το LCOE κυμαίνεται από 80€/MWh για μικρές έως 132€/MWh για μεγαλύτερες μονάδες (Roinioti and Koroneos, 2019).

Πίνακας 5.11. Εκπομπές CO2 κύκλου ζωής υδροηλεκτρικής ενέργειας και εξωτερικό κόστος

Στάδια κύκλου ζωής	Εκπομπές CO_2 (kg/MWh)	Εξωτερικό κόστος κλιματικής αλλαγής (€/MWh)	Άμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Έμμεση απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Επαγόμενη απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)	Συνολική απασχόληση (έτη εργασίας/TWh)
Κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας	2.51	0.05	83.3	39.5	31.5	154.3
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	0	0	95.4	40.2	54.1	189.7
Σύνολο	2.51	0.05	178.7	79.7	85.6	344

Δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα

Ο ελληνικός τομέας ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα και ιδιαίτερα από τον λιγνίτη, με αποτέλεσμα τις υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μια ενδιαφέρουσα μέθοδος για τη μείωση των εκπομπών CO2 θα μπορούσε να αποτελέσει το CCS. Η πιο συνηθισμένη επιλογή στις τεχνολογίες CCS είναι η δέσμευση μετά την καύση, μια σημαντική πτυχή της οποίας έγκειται στη μέθοδο αποθήκευσης: γενικά, υπάρχουν τρεις τρόποι αποθήκευσης άνθρακα: αποθήκευση στον ωκεανό, γεωλογική αποθήκευση και ενανθράκωση ορυκτών. Για την Ελλάδα, η πρώτη μέθοδος παρουσιάζει δυσκολίες, καθώς τα περισσότερα εργοστάσια βρίσκονται σε περιοχές μακριά από τη θάλασσα (Kelektsoglou, 2018).

Λίγες θέσεις μελετήθηκαν για την κατασκευή γεωλογικών αποθηκευτικών μονάδων: ο Πρίνος, στην Καβάλα, ο Πεντάλοφος και το Επτάχωρι, στη Βορειοδυτική Ελλάδα, ο Έβρος, στα βορειοανατολικά, και ο Βουρινός στη Δυτική Μακεδονία, όμως η επιλογή θεωρείται ότι έχει αρκετούς περιβαλλοντικούς κινδύνους (Tasianas et al., 2016; Koukouzas et al., 2018; Vatalis et al., 2012).

Η ενανθράκωση ορυκτών παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς η Ελλάδα διαθέτει γεωλογικές μορφές ικανές για αυτή τη διαδικασία, πχ., στην οροσειρά της Πίνδου (Saccani and Photiades, 2004), σε ελληνικά νησιά, (Mortazavi and Sparks, 2004; Stouraiti et al., 2017; Bachmann et al., 2012), και στην Κεντρική Ελλάδα (Magganas and Koutsovitis, 2015; Koutsovitis, 2012).

Ωκεανική ενέργεια

Στην Ελλάδα μόνο η παλιρροϊκή, η κυματική ενέργεια και η ενέργεια βασισμένη σε θαλάσσια ρεύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επαρκώς (Nikolaidis et al., 2019).

Η κυματική ενέργεια είναι μία από τις πιο άφθονες, συχνές, περιοδικές και εύκολα προβλέψιμες πηγές ενέργειας. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως κατάλληλη εναλλακτική λύση στην καύση ορυκτών καυσίμων (Melikoglu, 2018). Σήμερα, δεν υπάρχει πολιτική για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα, καθώς είναι μια χώρα με χαμηλό δυναμικό, σε σύγκριση με άλλες περιοχές της Μεσογείου. Ωστόσο, υπάρχουν τοποθεσίες που μπορούν να θεωρηθούν άξιες επενδύσεων κυματικής ενέργειας, με τους πιο ελπιδοφόρους υποψηφίους να περιλαμβάνουν την Κρήτη, τη Νάξο και την Εύβοια (Lavidas, 2019). Το κόστος κεφαλαίου για αυτές τις μονάδες, ωστόσο, εξακολουθεί να είναι πολύ υψηλότερο σε σύγκριση με άλλες μονάδες ΑΠΕ, αλλά προβλέπεται να μειωθεί έως το 2030 (Lavidas, 2019).

Εφαρμογές βασισμένες στα θαλάσσια ρεύματα και την παλιρροϊκή ενέργεια δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά στην Ελλάδα. Αν και υπάρχει σημαντική τρέχουσα δραστηριότητα στη νότια ακτή της Κρήτης (Nikolaidis et al., 2019), το πιο μελετημένο και γνωστό παράδειγμα στη χώρα είναι ο Ευβοϊκός Κόλπος (Tsirogiannis et al., 2019).

Υδρογόνο

Μια άλλη ενδιαφέρουσα επιλογή που διερευνάται είναι η χρήση υδρογόνου κυρίως για αποθήκευση όσον αφορά τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ειδικά ως συνοδεία σε σταθμούς ΑΠΕ. Τα περισσότερα ελληνικά νησιά δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι απαραίτητη για την πλήρη αξιοποίηση του μέγιστου δυναμικού ΑΠΕ (Apostolou and Enevoldsen, 2019). Αυτό είναι κυρίως σημαντικό για τις νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας λόγω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πετρέλαιο, η οποία είναι αρκετά ακριβή, σε σύγκριση με το κόστος παραγωγής στην ηπειρωτική χώρα (Kavadias et al., 2019), και δεδομένου ότι η καύση πετρελαίου παράγει σημαντικές ποσότητες εκπομπών CO2.

Μια κοινή εφαρμογή του συνδυασμού ΑΠΕ-υδρογόνου έγκειται στη μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας αιολικών πάρκων: η άφθονη ενέργεια που παράγεται αλλά δεν απορροφάται στο δίκτυο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί από κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή των απαραίτητων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο, όταν η αιολική ενέργεια είναι ανεπαρκής

(Apostolou and Enevoldsen, 2019). Αυτή η τεχνολογία, μαζί με άλλες εναλλακτικές λύσεις όπως οι μπαταρίες (Zafeiratou and Spataru, 2019), μπορούν να ληφθούν υπόψη για το ενεργειακό μέλλον των νησιών αλλά και το ηπειρωτικό δίκτυο για την περαιτέρω εκμετάλλευση του υψηλού ηλιακού και αιολικού δυναμικού της.

5.6 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

5.6.1 Χαρτογράφηση των εξελίξεων επί και πέραν των ορίων του MLP μονοπατιού

Εξετάζοντας προσεκτικά τις εξελίξεις της πρώτης περιόδου, παρατηρούμε αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας λόγω της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας εκείνη την εποχή. Κυρίαρχη πηγή ενέργειας ήταν ο λιγνίτης, με κύριο παράγοντα τη ΔΕΗ, ως ιδιοκτήτη των εγχώριων αποθεμάτων και υπεύθυνο για την εκμετάλλευσή τους. Η μη διασύνδεση με τα νησιά, μεταξύ άλλων (Zafeiratou and Spataru, 2017), επιβράδυνε επίσης τη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα: η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το πετρέλαιο για την κάλυψη των αναγκών τους εξακολουθούσε να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές καυσίμων, δεδομένων των ανεπαρκών αποθεμάτων πετρελαίου της χώρας (Tsirambides and Filippidis, 2012).

Μεταξύ των πρώτων προσπαθειών μετάβασης ήταν η απελευθέρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 1994 (Agoris et al., 2004) και του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας το 1999, επιτρέποντας σε ιδιώτες επενδυτές να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Iliadou, 2009). Το 1999 παρατηρείται μια πρώτη αύξηση του φυσικού αερίου, όπως και τα πρώτα αιολικά πάρκα. Αυτή η αύξηση του φυσικού αερίου οφείλεται κυρίως σε ιδιώτες επενδυτές—οι περισσότερες μονάδες φυσικού αερίου δεν ανήκουν στη ΔΕΗ—που δείχνουν ότι η απελευθέρωση του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντική κινητήρια δύναμη για τη χρήση καθαρότερων καυσίμων σε σύγκριση με το μέχρι τότε κυρίαρχο καθεστώς του λιγνίτη. Το 2006 ενσωματώθηκε ένα νομικό πλαίσιο για τη διείσδυση των φωτοβολταϊκών πάρκων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Giannini et al., 2015), με αποτέλεσμα να ξεκινήσει μια αξιοσημείωτη έκρηξη της ηλιακής ενέργειας το 2009, όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη μειώθηκε για πρώτη φορά. Όλες αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν σε ένα πιο πράσινο ενεργειακό μείγμα. Νωρίτερα, το 2007, ολοκληρώθηκε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με το άνοιγμα της αγοράς να επεκτείνεται στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και όχι μόνο στην παραγωγή, προκειμένου κάθε μεμονωμένος οικιακός καταναλωτής να μπορεί να επιλέξει τον προμηθευτή του, ενώ για μη οικιακούς καταναλωτές η επιλογή αυτή ήταν διαθέσιμη ήδη από το 2004. Περίπου την ίδια

περίοδο, δόθηκε προτεραιότητα στην έγχυση ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και ανεξάρτητους παραγωγούς, ενώ θεσπίστηκαν FITs για διαφορετικούς τύπους ΑΠΕ, σηματοδοτώντας συνολικά την άνοδο του ανταγωνισμού σε αυτόν τον τομέα.

Δύο αλληλένδετοι παράγοντες που συνέβαλαν σημαντικά στη μετάβαση και τη σταδιακή μείωση του λιγνίτη ήταν οι πολιτικές και οι οδηγίες της ΕΕ και οι εξελίξεις στο EU ETS, που πυροδοτήθηκαν από την ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Οι πολιτικές αυτές επηρέασαν σημαντικά την αποσταθεροποίηση του λιγνιτικού καθεστώτος, καθώς ένα χρόνο μετά την έναρξη του EU ETS το 2006, σημειώθηκε ακαριαία μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη κατά 9%.

Η ύφεση στην Ελλάδα, που ξεκίνησε προς το τέλος του 2009 (Gibson et al., 2012), καθώς και η εφαρμογή των τριών Μνημονίων οδήγησαν στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και κατ' επέκταση της παραγωγής. Το 2010, η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε κατά 6%, ενώ η παραγωγή από λιγνίτη μειώθηκε κατά σχεδόν 10% ως αποτέλεσμα της κρίσης, σε συνδυασμό με τους ευρωπαϊκούς και εθνικούς κανονισμούς εκπομπών. Παράλληλα, μεταξύ των επιπτώσεων της κρίσης, νοικοκυριά και επιχειρήσεις αποθαρρύνθηκαν από το να επενδύσουν σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ και παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας εξαιτίας της έλλειψης κεφαλαίου και χρηματοδότησης.

Από το 2012, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη είχε μειωθεί σημαντικά, και μέχρι το 2017 κατά σχεδόν 40%. Αυτό οφειλόταν κυρίως στο γεγονός ότι το EU ETS εισήλθε στην τρίτη φάση του με αποτέλεσμα να περιλαμβάνει σχεδόν το σύνολο των περισσότερων μη αποδοτικών και μεγάλης ηλικίας λιγνιτικών μονάδων της χώρας. Ωστόσο, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε μεταξύ 2013 και 2017 κατά 10%, δείχνοντας σημάδια ανάκαμψης από την κρίση, και καλύφθηκε κυρίως από την ηλιακή ενέργεια που αυξήθηκε το 2012 και το 2013 και στη συνέχεια από την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε στον μετασχηματισμό της αγοράς, κατά την περίοδο αυτή, ήταν η δημιουργία των οργανισμών που είναι υπεύθυνοι για τη ρύθμιση, την παρακολούθηση και την υποστήριξή της, καθώς και για την προστασία των συμφερόντων των σχετικών ενδιαφερόμενων μερών. Ορισμένοι παράγοντες και κανονισμοί, οδήγησαν στη βελτίωση του περιβάλλοντος για την ανάπτυξη ΑΠΕ, για παράδειγμα μέσω της θέσπισης στόχων για την πράσινη ενέργεια, την ενεργειακή απόδοση και τη μείωση των εκπομπών. Άλλες

παρεμβάσεις ωστόσο, όπως η περικοπή των FITs και το μεταβατικό τέλος ασφάλειας εφοδιασμού, σταμάτησαν τη διείσδυση των ΑΠΕ, με τη φωτοβολταϊκή ισχύ ενδεικτικά να παραμένει σχεδόν η ίδια από το 2013 για τα επόμενα χρόνια. Η αρνητική επίδραση της τελευταίας ενισχύθηκε από τη συνεχιζόμενη ύφεση και την αντίθεση της κοινωνίας στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών, η οποία παραμένει ισχυρή το 2020.

Ο νόμος 4513/2018 καλλιέργησε τις προϋποθέσεις για την υλοποίηση των ενεργειακών κοινοτήτων στο ενεργειακό σύστημα, ενισχύοντας την ενεργειακή δημοκρατία και δίνοντας τη δυνατότητα στις τοπικές αρχές να συμμετέχουν στην παραγωγή ενέργειας. Το 2018, δύο νέοι ιδιώτες προμηθευτές εισήλθαν στην αγορά και πραγματοποιήθηκε η πρώτη διασύνδεση με νησιά εκτός διασύνδεσης στις Κυκλάδες.

Παρά την τάση για περισσότερες εγκαταστάσεις ΑΠΕ και τις αυξημένες τιμές εκπομπών ρύπων, το 2013 η ΔΕΗ, σε μια αμφιλεγόμενη κίνηση, ανακοίνωσε την κατασκευή νέας λιγνιτικής μονάδας στην Πτολεμαΐδα (Roumpos and Papacosta, 2013), για την περαιτέρω αξιοποίηση του χαμηλής ποιότητας, εγχώριου λιγνίτη (Kaldellis and Kapsali, 2014). Το τότε υφιστάμενο ΕΣΕΚ σχεδίαζε να κατασκευαστεί αυτή η μονάδα αρχικά ως λιγνιτική και στη συνέχεια να αλλάξει η λειτουργία της σε φυσικό αέριο το 2028. Επιπλέον, το σύνολο των λιγνιτικών μονάδων της χώρας αναμενόταν να αρχίσει να κλείνει το 2023, διαδικασία ωστόσο που αντιμετωπίζει ακόμα σημαντικές μεταβολές σε επίπεδο προγραμματισμού, αρχικά δεδομένων δύο σημαντικών γεγονότων του 2019: πρώτον, ο ν.4533/2018 προέβλεπε την πώληση δύο λιγνιτικών μονάδων με μεταλλευτικά δικαιώματα, προκειμένου να περιοριστεί το μονοπώλιο της ΔΕΗ, η οποία εμφανίστηκε να προσπαθεί να δημοπρατήσει ορισμένες από τις μονάδες της σε ιδιώτες επενδυτές για τη μείωση του χρέους της (Naftemporiki, 2019). Και, δεύτερον, ο πρωθυπουργός, εκπροσωπώντας τη χώρα στη Σύνοδο Κορυφής του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή τον Σεπτέμβριο του 2019, ανακοίνωσε την αποφασιστικότητα της χώρας να κλείσει όλες τις λιγνιτικές μονάδες έως το 2028 (WWF, 2019), όπως αποτυπώνεται στο ΕΣΕΚ 2019.

Ωστόσο, όπως αναλύεται στην Ενότητα 5.4, η πρόοδος της απολιγνιτοποίησης κατά την περίοδο των 37 ετών που εξετάστηκε άφησε εκκρεμότητες υλοποίησης στα επόμενα στάδια (πχ., σημαντικό ποσοστό που πρέπει να αφαιρεθεί από το μείγμα, νέα μονάδα λιγνίτη), κυρίως λόγω της οικονομικής κρίσης. Η μικρή περίοδος που απομένει έως το 2028 απαιτεί ριζικούς μετασχηματισμούς για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου, προκαλώντας ενδεχομένως κοινωνικές ανισορροπίες. Η σημασία μιας καλά προετοιμασμένης και βιώσιμης

απολιγνιτοποίησης τονίζεται από τις κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις όλων των τεχνολογιών που συζητήθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Κατά την εξεταζόμενη περίοδο, και ιδιαίτερα από το τέλος της πρώτης περιόδου, άρχισε να λαμβάνει χώρα η απολιγνιτοποίηση. Η καύση του λιγνίτη έχει μειωθεί κατά σχεδόν 50% σε μόλις δώδεκα χρόνια, από το 2005 έως το 2017 (Εικόνα 5.2β). Μεγάλη αύξηση παρατηρείται και στην παραγωγή ΑΠΕ, ιδιαίτερα μετά την έναρξη της δεύτερης περιόδου. Το φαινόμενο αυτό καταδεικνύει ότι παράγοντες του ευρύτερου τοπίου, όπως η πολιτική της ΕΕ και οι εθνικοί κανονισμοί, λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχουν θέσει σοβαρές προκλήσεις στο υφιστάμενο καθεστώς, οδηγώντας σε σταδιακή απολιγνιτοποίηση. Ταυτόχρονα, άλλοι τέτοιοι παράγοντες έχουν επίσης δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες, π.χ. νομοθεσία χρηματοδοτικών σχημάτων, για τη σταδιακή εισαγωγή τεχνολογιών όπως η παραγωγή αιολικής και ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας, οι οποίες σταδιακά εντάσσονται στο καθεστώς. Από την άλλη όμως παράγοντες του ευρύτερου τοπίου έχουν δημιουργηθεί και δυσκολίες στη μετάβαση όπως, η οικονομική κρίση.

5.6.2 Το σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα του 2019 και η δίκαιη μετάβαση

Τον Δεκέμβριο του 2019, η ελληνική κυβέρνηση δημοσίευσε μια αναθεωρημένη έκδοση του αρχικά καταρτισμένου ΕΣΕΚ στα τέλη του 2018, μετά από δημόσια διαβούλευση έως τα μέσα Δεκεμβρίου 2019, με πιο φιλόδοξους στόχους για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, και αναμενόμενες επιπτώσεις στους περισσότερους οικονομικούς τομείς. Μεταξύ άλλων, αποσκοπεί στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με την προώθηση μέτρων ενεργειακής απόδοσης στα νοικοκυριά, στην επίτευξη ταχείας διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στον τομέα των μεταφορών, και μακροπρόθεσμα στη διασύνδεση των περισσότερων ελληνικών νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το σημαντικότερο είναι ότι το σχέδιο επικεντρώνεται στην πλήρη απολιγνιτοποίηση έως το 2028, με δυνητικά θετικές επιπτώσεις στην ελληνική οικονομία. Και πάλι, η εθνική νομοθεσία λειτουργεί ως σημαντικός παράγοντας εντός του MLP για τη σταδιακή κατάργηση του λιγνίτη.

Πέρα από τα οφέλη της μετάβασης από τον λιγνίτη σε «καθαρότερες» πηγές ενέργειας, το ΕΣΕΚ εξέφρασε επίσης κάποιες ανησυχίες. Η προωθούμενη μετάβαση και η συνακόλουθη διακοπή λειτουργίας διαφόρων λιγνιτικών μονάδων μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες θέσεων εργασίας και να επιβαρύνει δυσανάλογα τις τοπικές οικονομίες, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη λειτουργία αυτών των μονάδων, οδηγώντας με τη σειρά τους σε ερήμωση ολόκληρων πόλεων. Συνεπώς, μια τέτοια μετάβαση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με

παράλληλη δημιουργία νέων ευκαιριών απασχόλησης και καινοτόμα αξιοποίηση των λιγνιτικών εγκαταστάσεων. Μια δίκαιη μετάβαση χαμηλών εκπομπών θα πρέπει να συνεπάγεται επενδύσεις σε καθαρούς τομείς και τεχνολογίες, να σέβεται την ανθρώπινη ζωή και τα εργασιακά δικαιώματα και να βασίζεται στον κοινωνικό διάλογο μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων καθώς και σε εκτιμήσεις κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων ώστε να χαίρουν της υποστήριξης των τοπικών κοινωνιών που πλήττονται αλλά δεν εκπροσωπούνται επαρκώς στην κλιματική ατζέντα (Doukas et al., 2018).

Προς αυτή την κατεύθυνση και πέραν των δράσεων που περιγράφονται, οι τοπικές κοινωνίες των λιγνιτικών περιοχών (Φλώρινα, Αμύνταιο, Πτολεμαΐδα και Μεγαλόπολη) θα πρέπει να υποστηριχθούν από την Ελληνική Κυβέρνηση, καθώς το κλείσιμο των λιγνιτικών μονάδων αναμένεται να επηρεάσει σοβαρά την απασχόληση και τις τοπικές οικονομίες. Προς την επίτευξη δίκαιης μετάβασης και σύμφωνα με διάφορες διαστάσεις βιωσιμότητας, θα πρέπει να διατεθούν αναλόγως πόροι από το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης της ΕΕ, ώστε οι κοινότητες αυτές να μετασχηματίσουν το οικονομικό και αναπτυξιακό τους μοντέλο και να διατηρήσουν την κοινωνική τους συνοχή.

Η συμμετοχή των πολιτών μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η μετάβαση μπορεί να είναι «δίκαιη» (Papada et al., 2019), με βάση πρόσφατες αναλύσεις της σημασίας του κοινωνικού διαλόγου για την επίτευξη δικαιοσύνης (Gambhir et al., 2018) και της ισότητας των φύλων (Sorman et al., 2020), έννοιες σχετικές σε τέτοιες μεταβάσεις. Η πλατφόρμα της ΕΕ για τις περιφέρειες εξόρυξης άνθρακα σε μεταβατικό στάδιο για τη στήριξη των χωρών που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρακα βοηθά στην επικοινωνία μεταξύ των εθνικών, περιφερειακών και τοπικών ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με τον εκσυγχρονισμό των οικονομιών αυτών των περιοχών. Ταυτόχρονα δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους που εργάζονται στον τομέα του λιγνίτη να αποκτήσουν νέες δεξιότητες και να γίνουν ικανοί να εργαστούν σε μια πιο «πράσινη» οικονομία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018). Στην Ελλάδα, η Δυτική Μακεδονία έχει ενταχθεί στην πλατφόρμα και λαμβάνει βοήθεια για σχετικά θέματα.

Τέλος, εκτός από τα ζητήματα κλιματικής και ενεργειακής δικαιοσύνης, σημαντικές ανησυχίες σχετικά με το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ της χώρας έγκεινται στην ανεπαρκή περιγραφή των επενδύσεων που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων του, και στην περιορισμένη εξέταση ζητημάτων ηλεκτρικού χώρου στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και στο κατά πόσο είναι σε

θέση να ανταποκριθούν στη φιλόδοξη αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας, χωρίς σημαντικές και δαπανηρές δραστηριότητες συντήρησης και επέκτασης. Επιπλέον, όπως παρατηρείται στο υποκεφάλαιο 5.4, το φυσικό αέριο κερδίζει έδαφος ταχύτερα από ό,τι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αυξανόμενη εξάρτηση από το φυσικό αέριο για την αντιστάθμιση των περικοπών στην καύση λιγνίτη μπορεί να θεωρηθεί ως προσπάθεια απολιγνιτοποίησης αλλά όχι αναγκαστικά ως προσπάθεια πλήρους απανθρακοποίησης, ειδικά δεδομένου ότι το φυσικό αέριο κερδίζει έδαφος ταχύτερα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό δείχνει ότι η χαρτογράφηση του ΕΣΕΚ στο MLP δεν είναι τόσο απλή, καθώς δεν διασφαλίζει ότι η χώρα δεν θα εγκλωβιστεί σε ένα μεταβατικό καθεστώς ορυκτών καυσίμων αντί για μια βιώσιμη πορεία απανθρακοποίησης. Αυτό αποτελεί ένα κομβικό συμπέρασμα αναλογικά με τις επιπτώσεις της κρίσης στο MLP μονοπάτι και στο σχεδιασμό πολιτικών, διότι το παράθυρο ευκαιρίας που άνοιξε από την κρίση φαίνεται ότι δυσκόλεψε τη διείσδυση των ΑΠΕ ως niches στο σύστημα, και αντίθετα επέτρεψε στο φυσικό αέριο όντας ως τεχνολογία πιο «κοντά» στην υφιστάμενη δομή του καθεστώτος να κυριαρχήσει, και να δημιουργήσει μελλοντικά lock-ins σε ένα μονοπάτι αεριοποίησης.

5.6.3 Επιπτώσεις στη βιωσιμότητα

Δύο βασικές ανησυχίες της ανθρώπινης κοινωνίας είναι η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής. Προς αυτή την κατεύθυνση, το 2015, ο ΟΗΕ θέσπισε τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals – SDGs), που απαρτίζονται από 169 υπο-στόχους, δίνοντας έμφαση, μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη κάθε χώρας σε σχέση με το περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθούν περαιτέρω επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Allen et al., 2016), εστιάζοντας στην αποδοτική και χρήση πόρων με βιώσιμο τρόπο (SDGs 2,6,7,12), στην προστασία του περιβάλλοντος (SDGs 13,14,15), στην ανθρώπινη και οικονομική ανάπτυξη (SDGs 1,3,4,5,8,10) και στη διακυβέρνηση και τις υποδομές (SDGs 9,11,16,17) (van Soest et al., 2019).

Ο αντίκτυπος της ευρείας κλίμακας απολιγνιτοποίησης στα SDG αποτυπώθηκε στην ανάλυση των δομικών στοιχείων καινοτομίας του συστήματος. Ως σημαντικό γεγονός για την ελληνική οικονομία, ένας τέτοιος μετασχηματισμός θα επηρεάσει δυνητικά σχεδόν κάθε πτυχή της ανάπτυξης, των υποδομών και της διακυβέρνησης της χώρας. Σύμφωνα με τους Nguyen et al. (2019), η παροχή καθαρής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κύριο στόχο της ενεργειακής μετάβασης, μπορεί να οδηγήσει σε οικονομική ανάπτυξη διάφορες περιοχές. Δεδομένου του

υψηλού δυναμικού ΑΠΕ της Ελλάδας (Arabatzis et al., 2017), μια ενεργειακή μετάβαση μπορεί να είναι επωφελής για την οικονομία της και να συμβάλει στην ανάκαμψή της από τη συνεχιζόμενη ύφεση.

Η μετάβαση σε τροχιά απολιγνιτοποίησης παράλληλα με τις τεχνολογίες που καθοδηγούνται από τη δράση για το κλίμα είναι ένα σημαντικό βήμα προς την οικονομικά προσιτή και αξιόπιστη ενέργεια (Swain and Karimu, 2020), ειδικά για μια οικονομία εγκλωβισμένη σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα όπως η Ελλάδα. Οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μπορούσαν να αποδειχθούν σημαντικός παράγοντας οικονομικής ανάπτυξης (Koçak and Şarkgüneşi, 2017). Για την Ελλάδα, οι επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια θα πρέπει να προσελκύουν επενδύσεις στο σύνολο της οικονομίας και να συμβάλλουν στη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, καθώς και σε περισσότερες ευκαιρίες απασχόλησης (Nikas et al., 2018), ένα συμπέρασμα που γενικεύεται για οικονομίες που εξαρτώνται ακόμη περισσότερο από τον άνθρακα (πχ., Πολωνία; Antosiewicz et al., 2019). Ωστόσο, ο αντίκτυπος στις τοπικές οικονομίες, που μέχρι στιγμής περιστρέφεται γύρω από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένη στο λιγνίτη, αναμένεται να είναι σοβαρός: εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι η προσαρμοστικότητα των ανθρακωρύχων σε διαφορετικές τομεακές απαιτήσεις απασχόλησης μπορεί να είναι πολύ αργή (Autor et al., 2016).

Πέρα από την καθαρή ενέργεια, την οικονομική ανάπτυξη και την απασχολησιμότητα, η προβλεπόμενη μετάβαση θα μπορούσε να οδηγήσει σε καθαρότερη χρήση ενέργειας και από τις βιομηχανίες και το βιώσιμο μετασχηματισμό πόλεων, συμβάλλοντας στον μετριασμό των εκπομπών ανά μονάδα προστιθέμενης αξίας αλλά και στην καλύτερη διαχείριση των αποβλήτων σε τοπικό επίπεδο, στην οποία η Ελλάδα έχει επί του παρόντος πολύ χαμηλές επιδόσεις σε σύγκριση με άλλα κράτη μέλη της ΕΕ (Noll et al., 2019). Οι καθαρότερες εναλλακτικές λύσεις ενέργειας θα προωθήσουν επίσης την υπεύθυνη χρήση των πόρων του πλανήτη και τη μείωση των εθνικών δαπανών για ορυκτά καύσιμα.

Το σταδιακό κλείσιμο των μονάδων λιγνίτη και ο μετριασμός των εκπομπών ρύπων πέρα του CO2 παρουσιάζει σημαντικά οφέλη και για την υγεία: ο μολυσμένος αέρας προκαλεί αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα και η σταδιακή κατάργηση του λιγνίτη μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων σε τοπικό επίπεδο (Samara et al., 2018).

5.7 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στη χαρτογράφηση του ελληνικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κοινωνικο-τεχνική άποψη, προκειμένου να αναδειχθεί πώς μπορεί να πραγματοποιηθεί η μετάβαση σε μια βιώσιμη μεταλιγνιτική εποχή μέσω της απολιγνιτοποίησης, όπου εστιάζουμε συνολικά στα τρία επίπεδα της χρησιμοποιούμενης MLP τοπολογίας με ιδιαίτερη έμφαση σε γεγονότα του ευρύτερου περιβάλλοντος και συγκεκριμένα της οικονομικής κρίσης του 2009, σε αντίθεση με τη συνήθη προσέγγιση που εστιάζει στη σταδιακή διείσδυση εξειδικευμένων niches τεχνολογιών. Έτσι, παρουσιάζονται διάφορες πτυχές, αλληλεπιδράσεις και δυναμικές συμπεριφορές του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με την οικονομική κρίση του 2008 ως χρονικό σημείο αναφοράς.

Η ανάλυση του καθεστώτος του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας έδειξε ότι, για πολλά χρόνια, η εκμετάλλευση του λιγνίτη συνέβαλε στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της χώρας. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξανόταν μέχρι την εμφάνιση της χρηματοπιστωτικής κρίσης του 2008. Η κλιματική αλλαγή και οι αντίστοιχες πολιτικές της ΕΕ, καθώς και οι εθνικές νομικές εξελίξεις σχετικά με τη λειτουργία και τη διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης, μεταξύ άλλων, της απελευθέρωσης της αγοράς, συνέβαλαν στη μείωση της χρήσης λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην παράλληλη αύξηση των ΑΠΕ στο μείγμα. Ωστόσο, ένα ασταθές κανονιστικό πλαίσιο προκαλούμενο από την οικονομική κρίση και την ανάγκη για την πραγματοποίηση μεταρρυθμίσεων προσανατολισμένων στη λιτότητα ανέκοψε τον ρυθμό διείσδυσης των ΑΠΕ. Μια τέτοια εξέλιξη κρίνεται ανεπαρκής απέναντι στην επίτευξη των εθνικών στόχων για την προστασία του περιβάλλοντος και τη δράση για το κλίμα. Η σταδιακή κατάργηση του λιγνίτη θα πρέπει να εφαρμοστεί με την ταυτόχρονη ανάπτυξη υφιστάμενων και νέων εξειδικευμένων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών που μπορούν ταυτόχρονα να μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις στην απασχόληση και, ως εκ τούτου, να τονώσουν επίσης την περιφερειακή ανάπτυξη. Μέσω του συνδυασμού του MLP με LCA επί των υφιστάμενων niches του συστήματος οι επιπτώσεις προτεινόμενων τεχνολογιών σε διάφορες διαστάσεις αξιολογήθηκαν ως συνολικά θετικές. Ωστόσο αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι το παράθυρο ευκαιρίας λόγω της οικονομικής κρίσης που αποσταθεροποίησε σε σημαντικό βαθμό το καθεστώς λιγνίτη αξιοποιήθηκε με ταχύτερο ρυθμό από το φυσικό αέριο, δημιουργώντας συνθήκες για lock-in σε ένα μελλοντικό αεριοποιημένο μονοπάτι.

Το καταρτισμένο και στη συνέχεια αναθεωρημένο Ελληνικό Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) περιλαμβάνει φιλόδοξους στόχους για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, με επιπτώσεις για σχεδόν κάθε οικονομικό τομέα και πτυχή της ελληνικής κοινωνίας. Η έρευνά μας αναδεικνύει ότι οι τοπικές κοινωνίες των πολιτών στις λιγνιτικές περιοχές θα πρέπει να διευκολυνθούν να μετασχηματιστούν, προκειμένου να διατηρηθεί η κοινωνική συνοχή. Αυτή η στήριξη θα επιτρέψει προσωρινά την επίτευξη μιας δίκαιης μετάβασης. Επιπλέον, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις μιας τέτοιας μετάβασης, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στις επιδόσεις της χώρας σε όλες τις διαστάσεις της βιωσιμότητας, δίνοντας έμφαση στην ανάπτυξη της χώρας με σεβασμό στο περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθούν περαιτέρω επιπτώσεις της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής. Λαμβάνοντας προσεκτικά υπόψη τους παράγοντες που ενίσχυσαν τον λιγνίτη ως σημαντική πηγή ενέργειας στην Ελλάδα, καθώς και εμπόδισαν τις απόπειρες μετασχηματισμών στο παρελθόν, όπως αναλύονται στην παρούσα έρευνα, η ενεργειακή μετάβαση μπορεί να αποδειχθεί επωφελής για την οικονομία της χώρας και να συμβάλει στην ανάκαμψή της από τις μακροχρόνιες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 5

Achkari, O., & El Fadar, A. (2020). Latest developments on TES and CSP technologies – Energy and environmental issues, applications and research trends. Applied Thermal Engineering, 167, 114806.

Agoris, D., Tigas, K., Giannakidis, G., Siakkis, F., Vassos, S., Vassilakos, N., Kilias, V., & Damassiotis, M. (2004). An analysis of the Greek energy system in view of the Kyoto commitments. Energy Policy, 32(18), 2019-2033.

Allen, C., Metternicht, G., & Wiedmann, T. (2016). National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools. Environmental Science & Policy, 66, 199-207.

Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H. (2019). Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. Environmental Innovation and Societal Transitions.

Apostolou, D., & Enevoldsen, P. (2019). The past, present and potential of hydrogen as a multifunctional storage application for wind power. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 112, 917-929.

Arabatzis, G., Kyriakopoulos, G., & Tsialis, P. (2017). Typology of regional units based on RES plants: The case of Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 1424-1434.

Arantegui, R. L., & Jäger-Waldau, A. (2018). Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2460-2471.

Arapostathis, S., & Fotopoulos, F. (2019). Transnational energy flows, capacity building and Greece's quest for energy autarky, 1914–2010. Energy Policy, 127, 39-50.

Argyriadis, X., & Bonataki, E. (2006). Integration of natural gas plants in the Greek electrical production system: Recursion-Technologies. Retrieved January 19, 2020, from https://www.dei.gr/documents/energytec%202006%20argyriadis%201.pdf.

Arribas, E. C., Lantarón, J. H., Porro, C. A., & Gómez, M. J. P. (2019). Management and operation of small hydropower plants through a climate service targeted at end-users. In 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe).

Asimakopoulos, D. A., Santamouris, M., Farrou, I., Laskari, M., Saliari, M., Zanis, G., Giannakidis, G., Tigas, K., Kapsomenakis, J., & Douvis, C. (2012). Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century. Energy and Buildings, 49, 488-498.

Autor, D. H., Dorn, D., & Hanson, G. H. (2016). The China shock: Learning from labor-market adjustment to large changes in trade. Annual Review of Economics, 8, 205-240.

Azam, M., Khan, A. Q., Zafeiriou, E., & Arabatzis, G. (2016). Socio-economic determinants of energy consumption: An empirical survey for Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1556-1567.

Bachmann, O., Deering, C. D., Ruprecht, J. S., Huber, C., Skopelitis, A., & Schnyder, S. (2012). Evolution of silicic magmas in the Kos-Nisyros volcanic center, Greece: A petrological cycle associated with caldera collapse. Contributions to Mineralogy and Petrology, 163(1), 151-166.

Badera, J., & Kocoń, P. (2014). Local community opinions regarding the socio-environmental aspects of lignite surface mining: Experiences from central Poland. Energy Policy, 66, 507-516.

Bauer, C. (2008). Life Cycle Assessment of Fossil and Biomass Power Generation Chains: An Analysis Carried Out for ALSTOM Power Services. Paul Scherrer Institut Villigen, Switzerland.

Bednarczyk, Z. (2017). Landslide monitoring and counteraction technologies in Polish lignite opencast mines. Workshop on World Landslide Forum.

Bel, G., & Joseph, S. (2015). Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis. Energy Economics, 49, 531-539.

Berkhout, F., Smith, A., & Stirling, A. (2004). Socio-technological regimes and transition contexts. System innovation and the transition to sustainability: Theory, evidence and policy, 44(106), 48-75.

Bhat, I. K., & Prakash, R. (2009). LCA of renewable energy for electricity generation systems—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(5), 1067-1073.

Biska, A., & Oikonomou, N. (2006). Environmental consideration of ready-mixed concrete production. Tech. Chron. Sci. J, 35-48.

Botelho, A., Ferreira, P., Lima, F., Pinto, L. M. C., & Sousa, S. (2017). Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 896-904.

Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. Journal of Evolutionary Economics, 1(2), 93-118.

Celik, A. N., Muneer, T., & Clarke, P. (2009). A review of installed solar photovoltaic and thermal collector capacities in relation to solar potential for the EU-15. Renewable Energy, 34(3), 849-856.

Chalvatzis, K. J., & Hooper, E. (2009). Energy security vs. climate change: Theoretical framework development and experience in selected EU electricity markets. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9), 2703-2709.

CIEMAT. (2004). ExternE Externalities of Energy Vol XX: National Implementation. Retrieved January 19, 2020, from http://www.externe.info/externe_d7/sites/default/files/vol10.pdf

Cikankowitz, A., & Laforest, V. (2013). Using BAT performance as an evaluation method of techniques. Journal of Cleaner Production, 42, 141-158.

Collins, C. (2019). Beyond Coal: Phase-Out Policies in the EU and Implications for the United States. A Climate Institute Publication. Retrieved January 19, 2020, from http://climate.org/wp-content/uploads/2019/05/Beyond-Coal-Phaseout-policies-in-the-EU-and-implication-for-the-United-States.pdf

Congdon, P., Shouls, S., & Curtis, S. (1997). A multi-level perspective on small-area health and mortality: A case study of England and Wales. International journal of population geography, 3(3), 243-263.

da Graça Carvalho, M. (2012). EU energy and climate change strategy. Energy, 40(1), 19-22.

Dam, N., Ricketts, A., Catlett, B., & Henriques, J. (2017). Wearable sensors for analyzing personal exposure to air pollution. In 2017 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS).

Danias, N., Swales, J. K., & McGregor, P. (2013). The Greek electricity market reforms: Political and regulatory considerations. Energy Policy, 62, 1040-1047.

De Felice, M., Soares, M. B., Alessandri, A., & Troccoli, A. (2019). Scoping the potential usefulness of seasonal climate forecasts for solar power management. Renewable Energy, 142, 215-223.

de Haan, J. H., & Rotmans, J. (2011). Patterns in transitions: Understanding complex chains of change. Technological Forecasting and Social Change, 78(1), 90-102.

de Lima Andrade, A., & dos Santos, M. A. (2015). Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52, 1413-1423.

Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Emmenegger, M. F., Frischknecht, R., Heck, T., Jungbluth, N., Röder, A., & Tuchschmid, M. (2007). Life cycle inventories of energy systems: Results for

current systems in Switzerland and other UCTE countries. Final report ecoinvent data v2.0 No. 5, Paul Scherrer Institut villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Düberdorf, CH.

Doukas, H., Flamos, A., & Psarras, J. (2011). Risks on the security of oil and gas supply. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 6(4), 417-425.

Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: Delivering on the Paris Agreement. Sustainability, 10(7), 2299.

Doukas, H., Tsiousi, A., Marinakis, V., & Psarras, J. (2014). Linguistic multi-criteria decision making for energy and environmental corporate policy. Information Sciences, 258, 328-338.

Doukas, H., Karakosta, C., Flamos, A., & Psarras, J. (2014). Foresight for energy policy: Techniques and methods employed in Greece. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 9(2), 109-119.

Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Kagiannas, A. G., & Psarras, J. (2008). Energy policy making: An old concept or a modern challenge? Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 3(4), 362-371.

Doukas, H., Mannsbart, W., Patlitzianas, K. D., Psarras, J., Ragwitz, M., & Schlomann, B. (2007). A methodology for validating the renewable energy data in EU. Renewable Energy, 32(12), 1981-1998.

Drosatos, P., Nikolopoulos, N., Karampinis, E., Strotos, G., Grammelis, P., & Kakaras, E. (2020). Numerical comparative investigation of a flexible lignite-fired boiler using pre-dried lignite or biomass as supporting fuel. Renewable Energy, 145, 1831-1848.

Edsand, H. E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. Technology in Society, 49, 1-15.

EEA (European Environment Agency). (2018). CO2 emission intensity. Retrieved March 31, 2020, from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5

Efstratiadis, A. (2019). Dams and their environmental impacts in Greece: Insights, problems and challenges. Retrieved January 19, 2020, from https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1951/

Eleftheriadis, I. M., & Anagnostopoulou, E. G. (2015). Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. Energy Policy, 80, 153-164.

Elliott, D. (2016). A balancing act for renewables. Nature Energy, 1, 15003.

Enevoldsen, P., & Xydis, G. (2019). Examining the trends of 35 years growth of key wind turbine components. Energy for Sustainable Development, 50, 18-26.

ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). (2019). ENTSO-E Transmission System Map. Retrieved January 19, 2020, from https://www.entsoe.eu/data/map/

European Commission. (2018). Coal regions in transition. Retrieved January 19, 2020, from https://ec.europa.eu/energy/en/topics/oil-gas-and-coal/EU-coal-regions/coal-regions-transition

Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2010). Sustainability considerations for electricity generation from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(5), 1419-1427.

Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. International Affairs, 92(5), 1107-1125.

Fernández, A. G., Gomez-Vidal, J., Oró, E., Kruizenga, A., Solé, A., & Cabeza, L. F. (2019). Mainstreaming Commercial CSP Systems: A Technology Review. Renewable Energy, 140, 152-176.

Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. Energy, 170, 818-831.

Fotiadi, I. (2009, May 30). The slow development of wind farms. Kathimerini. Retrieved January 19, 2020, from https://www.kathimerini.gr/359658/article/epikairothta/ellada/me-ry8moys-xelwnas-ta-aiolika-parka

Frantzeskaki, N. (2011). Dynamics of societal transitions; driving forces and feedback loops (Doctoral Thesis). TU Delft.

Fritsche, U., & Rausch, L. (2009). Life cycle analysis of GHG and air pollutant emissions from renewable and conventional electricity, heating, and transport fuel options in the EU until 2030. Technical Paper No. 18, The European Topic Centre on Air and Climate Change, Öko-Institut.

Gambhir, A., Green, F., & Pearson, P. J. G. (2018). Towards a just and equitable low-carbon energy transition. Briefing Paper No. 26, Grantham Institute, Imperial College London.

Gao, P., & Yun, H. (2009). Liquidity Backstop, Corporate Borrowings, and Real Effects. Available at SSNR: https://ssrn.com/abstract=1421908.

Ge, T. S., Wang, R. Z., Xu, Z. Y., Pan, Q. W., Du, S., Chen, X. M., Ma, T., Wu, X. N., Sun, X. L., & Chen, J. F. (2018). Solar heating and cooling: Present and future development. Renewable Energy, 126, 1126-1140.

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case study. Research Policy, 31(8-9), 1257-1274.

Geels, F. W. (2005a). Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850–1930)—a case study in multi-level perspective. Technology in Society, 27(3), 363-397.

Geels, F. W. (2005b). Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. Technological Forecasting and Social Change, 72(6), 681-696.

Geels, F. W. (2005c). Technological transitions and system innovations: A co-evolutionary and socio-technical analysis. Edward Elgar Publishing.

Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. Environmental Innovation and Societal Transitions, 1(1), 24-40.

Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport studies. Journal of Transport Geography, 24, 471-482.

Geels, F. W. (2014). Regime resistance against low-carbon transitions: Introducing politics and power into the multi-level perspective. Theory, Culture & Society, 31(5), 21-40.

Geels, F. W., McMeekin, A., & Pfluger, B. (2018). Socio-technical scenarios as a methodological tool to explore social and political feasibility in low-carbon transitions: Bridging computer models and the multi-level perspective in UK electricity generation (2010–2050). Technological Forecasting and Social Change.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. Research Policy, 36(3), 399-417.

Georgakellos, D. A. (2006). The marginal external cost of electricity coming from a typical oil power plant in Greece. Proceedings of IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, and Sustainable Development. Vouliagmeni, Greece, July 11–13.

Georgakellos, D. A. (2010). Impact of a possible environmental externalities internalization on energy prices: The case of the greenhouse gases from the Greek electricity sector. Energy Economics, 32(1), 202-209.

Georgakellos, D. A. (2012). Climate change external cost appraisal of electricity generation systems from a life cycle perspective: The case of Greece. Journal of Cleaner Production, 32, 124-140.

Giannini, E., Moropoulou, A., Maroulis, Z., & Siouti, G. (2015). Penetration of photovoltaics in Greece. Energies, 8(7), 6497-6508.

Gibson, H. D., Hall, S. G., & Tavlas, G. S. (2012). The Greek financial crisis: Growing imbalances and sovereign spreads. Journal of International Money and Finance, 31(3), 498-516.

Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., & Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. Nature, 495(7441), 305.

Gupta, J., & Vegelin, C. (2016). Sustainable development goals and inclusive development. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 16(3), 433-448.

Gurgul, H. (2011). The role of coal consumption in the economic growth of the Polish economy in transition. Energy Policy, 39(4), 2088-2099.

Hatalis, M. (2012). Greek Sovereign Debt and the Rocky Road to Recovery. Paper No. 12, Lehigh University. Retrieved from https://preserve.lehigh.edu/perspectives-v30/12/

Hatziargyriou, N., Margaris, I., Stavropoulou, I., Papathanassiou, S., & Dimeas, A. (2017). Noninterconnected island systems: The Greek case. IEEE Electrification Magazine, 5(2), 17-27.

He, S., Zhao, L., Ding, S., Liang, S., Dong, L., Wang, J., Feng, Y., & Liu, L. (2019). Mapping economic drivers of China's NOx emissions due to energy consumption. Journal of Cleaner Production, 241, 118130.

IEA (International Energy Agency). (2017). Data and statistics. Retrieved from https://www.iea.org/data-and-statistics

IEA (International Energy Agency). (2018). World Energy Balances 2018. Paris: OECD Publishing.

IEA (International Energy Agency). (2019). Data and statistics. Retrieved from https://www.iea.org/data-and-statistics?country=GREECE&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source

IENE (Institute of Energy of South East Europe). (2012). The role of lignite power plants for further development of the electricity sector of Greece. Retrieved from https://www.iene.gr/energy-development2012/articlefiles/session2/%CE%9Cizan.pdf

Iliadou, E. N. (2009). Electricity sector reform in Greece. Utilities Policy, 17(1), 76-87.

IPTO (Independent Power Transmission Operator). (2019a). Monthly Energy Reports. Retrieved from http://www.admie.gr/en/market-statistics/montlhy-energy-balance/

IPTO (Independent Power Transmission Operator). (2019b). Transmission System Description. Retrieved from http://www.admie.gr/en/transmission-system/system-data-description/transmission-system-description/

Ivashina, V., & Scharfstein, D. (2010). Bank lending during the financial crisis of 2008. Journal of Financial Economics, 97(3), 319-338.

Jäger-Waldau, A., Bucher, C., Frederiksen, K. H. B., Guerro-Lemus, R., Mason, G., Mather, B., Mayr, C., Moneta, D., Nikoletatos, J., & Roberts, M. B. (2018). Self-consumption of electricity produced from PV systems in apartment buildings-Comparison of the situation in Australia, Austria, Denmark, Germany, Greece, Italy, Spain, Switzerland and the USA. In 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC).

Jäger-Waldau, A. (2019). PV Status Report 2019, EUR 29938 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Jungbluth, N., & Dones, E. R. (2007). Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen fur den okologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Okobilanzen fur die Schweiz. Ecoinvent report No. 6, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

Jungmeier, G., Resch, G., & Spitzer, J. (1998). Environmental burdens over the entire life cycle of a biomass CHP plant. Biomass and Bioenergy, 15(4-5), 311-323.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 894-900.

Kaldellis, J. K. (2005). Social attitude towards wind energy applications in Greece. Energy Policy, 33(5), 595-602.

Kaldellis, J. K. (2020). What Is the Wind Energy Progress in Greece? Prospects and Problems. In The Age of Wind Energy (pp. 23-40). Springer.

Kaldellis, J. K., & Apostolou, D. (2018). Wind Power Contribution in Achieving Global Renewable Energy Targets: Current Status and Future Prospects. Renewable Energy Engineering: Solar, Wind, Biomass, Hydrogen and Geothermal Energy Systems, 3, 238-271.

Kaldellis, J. K., & Kapsali, M. (2014). Evaluation of the long-term environmental performance of Greek lignite-fired power stations. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31, 472-485.

Kaldellis, J. K., Zafirakis, D., & Kondili, E. (2009). Contribution of lignite in the Greek electricity generation: review and future prospects. Fuel, 88(3), 475-489.

Kaldellis, J. K., Vlachos, G. T., Paliatsos, A. G., & Kondili, E. M. (2005). Detailed examination of the Greek electricity sector nitrogen oxides emissions for the period 1995–2002. Environmental Science & Policy, 8(5), 502-514.

Kaldellis, J. K., Kapsali, M., & Katsanou, E. (2012). Renewable energy applications in Greece—What is the public attitude? Energy Policy, 42, 37-48.

Katsaprakakis, D. A. (2016). Hybrid power plants in non-interconnected insular systems. Applied Energy, 164, 268-283.

Kavadias, K. A., Alexopoulos, P., & Charis, G. (2019). Techno-economic evaluation of geothermal-solar power plant in Nisyros island in Greece. Energy Procedia, 159, 136-141.

Kavouridis, K. (2008). Lignite industry in Greece within a world context: Mining, energy supply and environment. Energy Policy, 36(4), 1257-1272.

Kelektsoglou, K. (2018). Carbon capture and storage: A review of mineral storage of CO2 in Greece. Sustainability, 10(12), 4400.

Kellenberger, D., Althaus, H. J., Jungbluth, N., Künniger, T., Lehmann, M., & Thalmann, P. (2007). Life cycle inventories of building products. Final report ecoinvent data v2.0 No. 7, EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

Kis, Z., Pandya, N., & Koppelaar, R. H. E. M. (2018). Electricity generation technologies: Comparison of materials use, energy return on investment, jobs creation and CO2 emissions reduction. Energy Policy, 120, 144-157.

Koçak, E., & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. Energy Policy, 100, 51-57.

Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., ... Alkemade, F. (2019). An Agenda For Sustainability Transitions Research: State Of The Art And Future Directions. Environmental Innovation and Societal Transitions, 31, 1-32.

Kolovos, C. J. (2006). Technical aspects regarding the opening of a new mine with old already-existing equipment. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 1(1), 1-7.

Konstantinidis, C., & Vlachou, A. (2018). Appropriating Nature in Crisis-ridden Greece: Deepening Neoliberal Capitalism, Part 2. Capitalism Nature Socialism, 29(2), 108-121.

Kordas, I. J. (2006). LIGNITE AS CONTRIBUTORY FACTOR TO REGIONAL DEVELOPMENT OF GREECE-The case of Megalopolis basin at Central Peloponese. European Regional Science Association. 46th Congress, Volos.

Korre, A., & Durucan, S. (2009). Life Cycle Assessment of Aggregates, EVA025–Final Report: Aggregates Industry Life Cycle Assessment Model: Modelling Tools and Case Studies. Waste and Resources Action Programme, Oxon.

Kotroyannos, D., Tzagkarakis, S. I., Mavrozacharakis, E., & Kamekis, A. (2017). Utopian Left-Wing Expectations and the Social Consequences of the 3rd Memorandum in Greece. European Quarterly of Political Attitudes and Mentalities, 6(2), 55-66.

Koukiadaki, A., & Kretsos, L. (2012). Opening Pandora's box: The sovereign debt crisis and labour market regulation in Greece. Industrial Law Journal, 41(3), 276-304.

Koukouzas, N., Kypritidou, Z., Purser, G., Rochelle, C. A., Vasilatos, C., & Tsoukalas, N. (2018). Assessment of the impact of CO2 storage in sandstone formations by experimental studies and geochemical modeling: The case of the Mesohellenic Trough, NW Greece. International Journal of Greenhouse Gas Control, 71, 116-132.

Koutsovitis, P. (2012). Gabbroic rocks in ophiolitic occurrences from East Othris, Greece: petrogenetic processes and geotectonic environment implications. Mineralogy and Petrology, 104(3-4), 249-265.

Kyritsis, A., Voglitsis, D., Papanikolaou, N., Tselepis, S., Christodoulou, C., Gonos, I., & Kalogirou, S. A. (2017). Evolution of PV systems in Greece and review of applicable solutions for higher penetration levels. Renewable Energy, 109, 487-499.

LAGIE. (2015). Monthly report on electricity production trading system. Retrieved January 19, 2020, from http://www.lagie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/DAS_Monthly_Reports/201511_DAS_Monthly_Report.pdf

LAGIE. (2019a). Monthly reports on energy. Retrieved January 19, 2020, from http://www.admie.gr/deltia-agoras/miniaia-deltia-energeias/doccat/list/Document/

LAGIE. (2019b). RES & CHP Monthly Statistics of Special Accounts. Retrieved January 19, 2020, from http://www.lagie.gr/systima-eggyimenon-timon/ape-sithya/miniaia-deltia-eidikoy-logariasmoy-ape-sithya/

LAGIE. (2019c). RES & CHP Monthly Statistics. Retrieved January 19, 2020, from http://www.lagie.gr/en/feed-in-tariffs/res-chp/res-chp-monthly-statistics/

Lavidas, G. (2019). Energy and socio-economic benefits from the development of wave energy in Greece. Renewable Energy, 132, 1290-1300.

Lieu, J., Spyridaki, N. A., Alvarez-Tinoco, R., Van der Gaast, W., Tuerk, A., & van Vliet, O. (2018). Evaluating consistency in environmental policy mixes through policy, stakeholder, and contextual interactions. Sustainability, 10(6), 1896.

Lioutas, N., Lazarou, S., Marmidis, G., Pyrgioti, E., & Agoris, D. (2007). Overhead line and cable mapping of the Greek electric transmission system, for the study of transitional overvoltages, using EMTP-ATP. 15th International Symposium on High Voltage Engineering, ISH 2007, Ljubljana, Slovenia.

Magganas, A., & Koutsovitis, P. (2015). Composition, melting and evolution of the upper mantle beneath the Jurassic Pindos ocean inferred by ophiolitic ultramafic rocks in East Othris, Greece. International Journal of Earth Sciences, 104(5), 1185-1207.

Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. Research Policy, 37(4), 596-615.

Martinopoulos, G., & Tsalikis, G. (2018). Diffusion and adoption of solar energy conversion systems–The case of Greece. Energy, 144, 800-807.

McDowall, W. (2014). Exploring possible transition pathways for hydrogen energy: A hybrid approach using socio-technical scenarios and energy system modelling. Futures, 63, 1-14.

Melikoglu, M. (2018). Current status and future of ocean energy sources: A global review. Ocean Engineering, 148, 563-573.

Michas, S., Stavrakas, V., Papadelis, S., & Flamos, A. (2020). A transdisciplinary modeling framework for the participatory design of dynamic adaptive policy pathways. Energy Policy, 139, 111350.

Ministry of Energy. (2018a). Annual Environmental Report Agios Dimitrios 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=RY264YS6JRE%3d&tabid=965&language=el-GR

Ministry of Energy. (2018b). Annual Environmental Report Amyntaio 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=0iWGOZ9O3vE%3D&tabid=965&language=el-GR

Ministry of Energy. (2018c). Annual Environmental Report Kardia 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=6Bp5W875IAA%3d&tabid=965&language=el-GR

Ministry of Energy. (2018d). Annual Environmental Report Megalopoli A 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=lo7WI%2BImUNY%3D&tabid=965&language=el-GR

Ministry of Energy. (2018e). Annual Environmental Report Megalopoli B 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=M5%2FtDfy%2Bi%2Fo%3D&tabid=965&language=el-GR

Ministry of Energy. (2018f). Annual Environmental Report Melitis 2018. Retrieved January 19, 2020, from http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=3JJbqLNoFs0%3D&tabid=966&language=el-GR

Mirek, K., & Mirek, J. (2011). Correlation between ground subsidence and induced mining seismicity, Upper Silesia Coal Basin case study. Polish Journal of Environmental Studies, 20(4A), 253-257.

Moallemi, E. A., de Haan, F. J., Webb, J. M., George, B. A., & Aye, L. (2017). Transition dynamics in state-influenced niche empowerments: Experiences from India's electricity sector. Technological Forecasting and Social Change, 116, 129-141.

Mortazavi, M., & Sparks, R. S. J. (2004). Origin of rhyolite and rhyodacite lavas and associated mafic inclusions of Cape Akrotiri, Santorini: The role of wet basalt in generating calcalkaline silicic magmas. Contributions to Mineralogy and Petrology, 146(4), 397-413.

Moustakas, K., Parmaxidou, P., & Vakalis, S. (2019). Anaerobic digestion for energy production from agricultural biomass waste in Greece: Capacity assessment for the region of Thessaly. Energy, 116556.

Nádudvari, A., Fabiańska, M. J., Marynowski, L., Kozielska, B., Konieczyński, J., Smołka-Danielowska, D., & Ćmiel, S. (2018). Distribution of coal and coal combustion related organic pollutants in the environment of the Upper Silesian Industrial Region. Science of the Total Environment, 628, 1462-1488.

Naftemporiki. (2019, March 8). Public Power Company: The new tender for lignite units has been launched. Naftemporiki. Retrieved January 19, 2020, from https://www.naftemporiki.gr/finance/story/1452097/dei-prokiruxthike-o-neos-diagonismos-gia-tis-lignitikes-monades

Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). An evolutionary theory of economic change. Cambridge, MA: Belknap Press.

Neuhoff, K., Martinez, K. K., & Sato, M. (2006). Allocation, incentives and distortions: The impact of EU ETS emissions allowance allocations to the electricity sector. Climate Policy, 6(1), 73-91.

New Climate Institute. (2019). De-risking Onshore Wind Investment – Case Study: South East Europe. Study on behalf of Agora Energiewende. Retrieved April 2, 2020, from https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/De-risking_SEE/161_Unlocking_SEE_EN_WEB.pdf

Newman, H. R. (2013). The mineral industry of Greece. Minerals Yearbook-Area Reports: International Review: 2011, Europe and Central Eurasia, 3, 14.

Nguyen, T. T., Nguyen, T. T., Hoang, V. N., Wilson, C., & Managi, S. (2019). Energy transition, poverty and inequality in Vietnam. Energy Policy, 132, 536-548.

Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Tinoco, R. A., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. Journal of Knowledge Management, 21(5), 1013-1034.

Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. Applied Soft Computing, 76, 140-155.

Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., ... Doukas, H. (2019). From near-term actions to long-term pathways – risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In Narratives of Low-Carbon Transitions (pp. 180-197).

Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2018). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. Environmental Innovation and Societal Transitions.

Nikolaidis, G., Karaolia, A., Matsikaris, A., Nikolaidis, A., Nicolaides, M., & Georgiou, G. C. (2019). Blue energy potential analysis in the Mediterranean. Frontiers in Energy Research, 7(62), 12.

Nikolaou, A., & Diakoulaki, D. (2003). Life Cycle Assessment of a bio-electricity system in Greece. Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Greece, 8–10 September 2003. Full paper vol. B.

Noll, D., Wiedenhofer, D., Miatto, A., & Singh, S. J. (2019). The expansion of the built environment, waste generation and EU recycling targets on Samothraki, Greece: An island's dilemma. Resources, Conservation and Recycling, 150, 104405.

Nykvist, B., & Whitmarsh, L. (2008). A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden. Technological Forecasting and Social Change, 75(9), 1373-1387.

Oikonomou, V., Flamos, A., Zeugolis, D., & Grafakos, S. (2012). A qualitative assessment of EU energy policy interactions. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 7(2), 177-187.

Oikonomou, V., Flamos, A., & Grafakos, S. (2014). Combination of energy policy instruments: creation of added value or overlapping?. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 9(1), 46-56.

Orfanos, N., Mitzelos, D., Sagani, A., & Dedoussis, V. (2019). Life-cycle environmental performance assessment of electricity generation and transmission systems in Greece. Renewable Energy, 139, 1447-1462.

Pantusa, D., & Tomasicchio, G. R. (2019). Large-scale offshore wind production in the Mediterranean Sea. Cogent Engineering, 6(1), 1661112.

Papada, L., Katsoulakos, N., Doulos, I., Kaliampakos, D., & Damigos, D. (2019). Analyzing energy poverty with Fuzzy Cognitive Maps: A step-forward towards a more holistic approach. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 14(5), 159-182.

Papadelis, S., Flamos, A., & Psarras, J. (2013). A framework to address uncertainties in energy policy formulation. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 8(3), 270-278.

Papadelis, S., Stavrakas, V., & Flamos, A. (2016). What do capacity deployment rates tell us about the efficiency of electricity generation from renewable energy sources support measures in Greece?. Energies, 9(1), 38.

Papadopoulos, M. (2018). The establishment and development of Public Power Company. Kathimerini, April 16, 2018. Accessed January 19, 2020. https://www.kathimerini.gr/959053/gallery/epikairothta/ellada/h-idrysh-kai-anapty3h-ths-deh.

Papagiannis, A., Roussos, D., Menegaki, M., & Damigos, D. (2014). Externalities from lignite mining-related dust emissions. Energy Policy, 74, 414-424.

RAE. (2001). Map of power stations and transmission network. Accessed January 19, 2020. rae.gr/old/sub3/3B/3b3.htm.

RAE. (2013). Thermal power plants in the interconnected system. Accessed January 19, 2020. http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/factsheets/2013/mods/07112013?p=file&i=0.

RAE. (2014). Non-interconnected Islands. Accessed January 19, 2020. www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/mdn.cs.

RAE. (2019a). Electricity Supply & Competition. Accessed January 19, 2020. http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/competition.csp.

RAE. (2019b). The Greek energy system – Natural Gas. Accessed January 19, 2020. http://www.rae.gr/old/sub3/3B/3b2.htm.

Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. In Human choice and climate change (Vol. 2, pp. 327-399). Columbus, OH: Battelle Press.

Rogge, K. S., Pfluger, B., & Geels, F. W. (2018). Transformative policy mixes in socio-technical scenarios: The case of the low-carbon transition of the German electricity system (2010–2050). Technological Forecasting and Social Change.

Roinioti, A., & Koroneos, C. (2019). Integrated life cycle sustainability assessment of the Greek interconnected electricity system. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 32, 29-46.

Roumpos, C., & Papacosta, E. (2013). Strategic mine planning of surface mining projects incorporating sustainability concepts. Proceedings, 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry (SDIMI 2013), Milos Island, Greece, June.

Roupas, C., Flamos, A., & Psarras, J. (2011). Comparative analysis of EU member countries vulnerability in oil and gas. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 6(4), 348-356.

Saccani, E., & Photiades, A. (2004). Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in the Pindos ophiolites (Greece): implications for magma genesis in a forearc setting. Lithos, 73(3-4), 229-253.

Sachs, J. D. (2012). From millennium development goals to sustainable development goals. The Lancet, 379(9832), 2206-2211.

Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., & Fuller, G. (2019). Sustainable development report 2019. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN): New York, NY, USA.

Sagani, A., Hagidimitriou, M., & Dedoussis, V. (2019). Perennial tree pruning biomass waste exploitation for electricity generation: The perspective of Greece. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 31, 77-85.

Sakellaridis, N., Mantzaris, J., Nakos, C., Giannakidis, G., & Tigas, K. (2011). Hellenic power generation system: Towards meeting the national targets up to 2020. 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering.

Samara, C., Argyropoulos, G., Grigoratos, T., Kouras, A., Manoli, E., Andreadou, S., Pavloudakis, F., & Sahanidis, C. (2018). Chemical characterization and receptor modeling of PM10 in the surroundings of the opencast lignite mines of Western Macedonia, Greece. Environmental Science and Pollution Research, 25(13), 12206-12221.

Sari, R., Voyvoda, E., Lacey-Barnacle, M., Karababa, E., Topal, C., & Islambay, D. (2017). Energy Justice-a Social Sciences and humanities Cross-Cutting Theme Report, SHAPE ENERGY, Cambridge.

Schot, J. (1998). The usefulness of evolutionary models for explaining innovation. The case of the Netherlands in the nineteenth century. History and Technology, an International Journal, 14(3), 173-200.

Sebastián, F., Royo, J., & Gómez, M. (2011). Cofiring versus biomass-fired power plants: GHG (Greenhouse Gases) emissions savings comparison by means of LCA (Life Cycle Assessment) methodology. Energy, 36(4), 2029-2037.

Smith, A. (2007). Translating sustainabilities between green niches and socio-technical regimes. Technology analysis & strategic management, 19(4), 427-450.

Sorman, A. H., García-Muros, X., Pizarro-Irizar, C., & González-Eguino, M. (2020). Lost (and found) in Transition: Expert stakeholder insights on low-carbon energy transitions in Spain. Energy Research & Social Science, 64, 101414.

Soukissian, T., Karathanasi, F., Axaopoulos, P., Voukouvalas, E., & Kotroni, V. (2018). Offshore wind climate analysis and variability in the Mediterranean Sea. International Journal of Climatology, 38(1), 384-402.

Spilanis, G. (1999). Summary of the Report on the Regional Development Plan 2000-2006. Island Area Development. University of the Aegean. Accessed January 19, 2020. http://www1.aegean.gr/lid/internet/elliniki_ekdosi/Dimosieuseis/Espace-Insulaire.htm

Spiliotis, E., Arsenopoulos, A., Kanellou, E., Psarras, J., & Kontogiorgos, P. (2020). A multi-sourced data based framework for assisting utilities identify energy poor households: a case-study in Greece. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 1-23.

Stavrakas, V., & Flamos, A. (2020). A modular high-resolution demand-side management model to quantify benefits of demand-flexibility in the residential sector. Energy Conversion and Management, 205, 112339.

Stavrakas, V., Papadelis, S., & Flamos, A. (2019). An agent-based model to simulate technology adoption quantifying behavioural uncertainty of consumers. Applied Energy, 255, 113795.

Stouraiti, C., Pantziris, I., Vasilatos, C., Kanellopoulos, C., Mitropoulos, P., Pomonis, P., Moritz, R., & Chiaradia, M. (2017). Ophiolitic remnants from the upper and intermediate structural unit of the Attic-Cycladic Crystalline Belt (Aegean, Greece): Fingerprinting geochemical affinities of magmatic precursors. Geosciences, 7(1), 14.

Strantzali, E., Aravossis, K., & Livanos, G. A. (2017). Evaluation of future sustainable electricity generation alternatives: The case of a Greek island. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 775-787.

Swain, R. B., & Karimu, A. (2020). Renewable electricity and sustainable development goals in the EU. World Development, 125, 104693.

Tasianas, A., & Koukouzas, N. (2016). CO2 storage capacity estimate in the lithology of the Mesohellenic Trough, Greece. Energy Procedia, 86, 334-341.

TEE. (2008). Electricity production from fossil fuels. Accessed January 19, 2020. library.tee.gr/digital/m2483/m2483_bonataki.pdf.

TEE. (2010). The Hydroelectric power production of PPC S.A. Accessed January 19, 2020. http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483_argirakis.pdf.

Tourkolias, C., Mirasgedis, S., Damigos, D., & Diakoulaki, D. (2009). Employment benefits of electricity generation: A comparative assessment of lignite and natural gas power plants in Greece. Energy Policy, 37(10), 4155-4166.

Tranberg, B., Corradi, O., Lajoie, B., Gibon, T., Staffell, I., & Andresen, G. B. (2019). Real-time carbon accounting method for the European electricity markets. Energy Strategy Reviews, 26, 100367.

Tsirambides, A., & Filippidis, A. (2012). Metallic mineral resources of Greece. Open Geosciences, 4(4), 641-650.

Tsirogiannis, E., Angelidis, P., & Kotsovinos, N. (2019). Hydrodynamic Circulation under Tide Conditions at the Gulf of Evoikos, Greece. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 8(03), 57.

Tzogopoulos, G. N. (2017). Greece, Israel, and China's Belt and Road Initiative. Mideast Security and Policy Studies No. 139, The Begin-Sadat Center for Strategic Studies Bar-Ilan University.

Upham, P., Kivimaa, P., Mickwitz, P., & Åstrand, K. (2014). Climate policy innovation: A sociotechnical transitions perspective. Environmental Politics, 23(5), 774-794.

Vagiona, D., & Kamilakis, M. (2018). Sustainable Site Selection for Offshore Wind Farms in the South Aegean—Greece. Sustainability, 10(3), 749.

Van der Gaast, W., Oikonomou, V., & Flamos, A. (2013). Domestic offsets in practice: Modalities and implications. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 8(2), 144-153.

Van Driel, H., & Schot, J. (2005). Radical innovation as a multilevel process: Introducing floating grain elevators in the port of Rotterdam. Technology and Culture, 46(1), 51-76.

Van Sluisveld, M. A., Hof, A. F., Carrara, S., Geels, F. W., Nilsson, W., Rogge, K., Turnheim, K., & van Vuuren, D. P. (2018). Aligning integrated assessment modelling with socio-technical transition insights: An application to low-carbon energy scenario analysis in Europe. Technological Forecasting and Social Change, 119177.

van Soest, H. L., van Vuuren, D. P., Hilaire, J., Minx, J. C., Harmsen, M. J.H.M., Krey, V., Popp, A., Riahi, K., & Luderer, G. (2019). Analysing interactions among Sustainable Development Goals with Integrated Assessment Models. Global Transitions, 1, 210-225.

Vapur, H., & Top, S. (2017). Comparison of coal-based energy production with other resources to determine an effective method in Turkey. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12(3), 282-288.

Vasilakos, N. (2019). Energy transition challenges and development priorities for the Greek energy sector in the coming decade. Robert Schuman Centre for Advanced Studies Research Paper No. RSCAS 37.

Vatalis, K. I., Laaksonen, A., Charalampides, G., & Benetis, N. P. (2012). Intermediate technologies towards low-carbon economy. The Greek zeolite CCS outlook into the EU commitments. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 3391-3400.

Verbong, G., & Geels, F. W. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960–2004). Energy Policy, 35(2), 1025-1037.

Weaver, P. M., & Rotmans, J. (2006). Integrated sustainability assessment: What is it, why do it and how? International Journal of Innovation and Sustainable Development, 1(4), 284-303.

World Commission on Dams. (2000). Dams and development: A new framework for decision-making. New York: World Commission on Dams.

WSA. (2011). Methodology Report - Life Cycle Inventory Study for Steel Products. World Steel Association, Brussels.

Wu, Y., Li, R., Cui, L., Meng, Y., Cheng, H., & Fu, H. (2020). The high-resolution estimation of sulfur dioxide (SO2) concentration, health effect and monetary costs in Beijing. Chemosphere, 241, 125031.

WWF. (2019). Greece commits to phase out lignite and single-use plastics. Accessed January 19, 2020. https://www.wwf.gr/en/news/2311-greece-commits-to-phase-out-lignite-and-single-use-plastic.

Yücel, G. (2010). Analyzing Transition Dynamics: The Actor-Option Framework for Modelling Socio-Technical Systems. Doctoral Thesis, TU Delft.

Zafeiratou, E., & Spataru, C. (2015). Investigation of high renewable energy penetration in the island of Syros following the interconnection with the national grid system. Energy Procedia, 83, 237-247.

Zafeiratou, E., & Spataru, C. (2017). Potential economic and environmental benefits from the interconnection of the Greek islands. International Journal of Global Warming, 13(3/4), 426-458.

Zafeiratou, E., & Spataru, C. (2019). Long Term analysis of submarine transmission grid extensions between the Greek islands and the mainland. In 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST) (pp. 1-6). IEEE.

Zevgolis, I. E., Deliveris, A. V., & Koukouzas, N. C. (2019). Slope failure incidents and other stability concerns in surface lignite mines in Greece. Journal of Sustainable Mining, 18(4), 182-197.

Κεφάλαιο 6. Μεταβάσεις εν μέσω ενεργειακών και ευρύτερων κρίσεων: Η περίπτωση του τομέα μεταφορών και η ανάπτυξη του τομέα των βιοκαυσίμων σε Βραζιλία και Αργεντινή

6.1 Εισαγωγή

Οι μεταφορές, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 4, συγκαταλέγονται στους τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα—υπεύθυνα για το 75% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σχεδόν το 90% των εκπομπών CO2 (SEI et al., 2019)—με την καταναλισκόμενη ενέργεια το 2015 να εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από πετρελαϊκά προϊόντα (96%) (Navas-Anguita et al., 2019) και έκτοτε να έχει σημειωθεί ασήμαντη πρόοδος. Η ζήτηση καυσίμων για τις μεταφορές αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια, με τις προβλέψεις για το 2050 να δείχνουν αύξηση σχεδόν 75% για τις χώρες εκτός ΟΟΣΑ, χωρίς σημαντικές αλλαγές στο μείγμα καυσίμων, ενώ η ζήτηση για τις χώρες του ΟΟΣΑ παραμένει σταθερή (EIA, 2019). Ως εκ τούτου, οι μεταφορές είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς εκπομπών CO2 παγκοσμίως, καθώς αυξήθηκαν μεταξύ 2010 και 2017 από λίγο κάτω από 7GtCO2, σε πάνω από 8GtCO2 (IEA, 2018). Δεδομένου ότι οι εκπομπές του τομέα προβλέπεται να διπλασιαστούν έως το 2050 (Creutzig et al., 2015), η απανθρακοποίηση των μεταφορών απαιτεί τη λήψη ενός συνόλου μέτρων πολιτικής για τη στήριξη της καινοτομίας χαμηλών εκπομπών (Geels et al., 2018), ειδικότερα σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) αναμένεται να παίξουν κομβικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια (Böhringer et al., 2020). Αισιόδοξα σενάρια μοντελοποίησης δείχνουν ότι η ευρεία διάδοση των EVs θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση έως και 94% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά χιλιόμετρο (Axsen and Sovacool, 2019). Ωστόσο, όπως είδαμε και στην περίπτωση της Νορβηγίας στο Κεφάλαιο 4, η πρόοδος όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών μπορεί να μην είναι άμεσα ορατή παρά τα υψηλά ποσοστά ηλεκτρικών οχημάτων (Koasidis et al., 2020), όπου αντίθετα άμεσα σημάδια βελτίωσης αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση των βιοκαυσίμων. Ως εκ τούτου, τα βιοκαύσιμα θεωρούνται σημαντική συμπληρωματική λύση στον εξηλεκτρισμό για τον περιορισμό των εκπομπών του τομέα (Siskos et al., 2018). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη Λατινική Αμερική, όπου η χρήση βιοκαυσίμων αυξάνεται ραγδαία, με τη Βραζιλία και την Αργεντινή να παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες στο βιοντίζελ σόγιας (Janssen and Rutz, 2011), λόγω των ευνοϊκών κλιματικών και εδαφικών συνθηκών (MAPA, 2006). Και οι δύο χώρες είναι από τους μεγαλύτερους παραγωγούς βιοντίζελ και θεωρούνται ηγέτες της

βιομηχανίας βιοκαυσίμων, με τη Βραζιλία να είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός σόγιας παγκοσμίως (Costantini et al., 2015) και η Αργεντινή ο τρίτος (da Silva César et al., 2019).

Η Βραζιλία και η Αργεντινή κατατάχθηκαν ψηλά σε επίπεδο εκπομπών (13η και 32η θέση το 2019 αντίστοιχα σε απόλυτες τιμές MtCO2), αν και υποχωρούν σημαντικά στον αντίστοιχο κατά κεφαλήν δείκτη (126η και 92η tCO2/άτομο, αντίστοιχα) (Global Carbon Atlas, 2015). Και οι δύο χώρες θεωρούνται αναπτυσσόμενες και, ως εκ τούτου, δεν ταξινομούνται στο παράρτημα-I (Annex I) του ΟΗΕ (Viglizzo et al., 2019; Yıldırım et al., 2020), παρά τα αυξανόμενα επιχειρήματα υπέρ του χαρακτηρισμού της Βραζιλίας ως ανεπτυγμένης (Ari and Sari, 2017). Και οι δύο χώρες έχουν νομοθετήσει πολιτικές μετριασμού (Pischke et al., 2019), η έλλειψη ωστόσο σημαντικής προόδου εγείρει ερωτήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα αυτών των μέτρων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μεταφορές είναι ο κυρίαρχος τομέας σε επίπεδο εκπομπών CO2 και στις δύο χώρες (IEA, 2018), όσο και το γεγονός ότι οι προσπάθειες γύρω από τα βιοκαύσιμα χρονολογούνται στην περιοχή ήδη από τη δεκαετία του 1970, είναι επιτακτική η μελέτη της ιστορικής εξέλιξης του τομέα των δύο χωρών από την οπτική της βιωσιμότητας, ώστε να αξιολογηθεί η επίδραση των βιοκαυσίμων ως πολιτικές μετριασμού (Eliasson and Proost, 2015) σε αυτές τις δύο χώρες που θεωρούνται πρότυπα για την εν λόγω καινοτομία.

Τα εξελικτικά οικονομικά (Nelson and Winter, 1982) ήταν ζωτικής σημασίας για την ανάλυση δυναμικών αλληλεπιδράσεων που οδηγούν σε συστημική αλλαγή ή και ευρύτερα οικονομική ανάπτυξη (Dosi and Nelson, 1994; Nelson, 1995). Στη διαδικασία αυτή, ο συντονισμός με τους μηχανισμούς της αγοράς είναι καίριας σημασίας για την τεχνολογική και συστημικά αλλαγή από τη μία, και τη διάδοση της καινοτομίας από την άλλη (Metcalfe, 1998). Στα προηγούμενα κεφάλαια της Ενότητας ΙΙ μελετήθηκαν μεταβατικά φαινόμενα μέσω του MLP (Κεφάλαιο 5), και ζητήματα διάχυσης καινοτομίας μέσα από το σύστημα καινοτομία SIS (Κεφάλαια 3-4). Συνδυαστικά ωστόσο (Markard and Truffer, 2008; Geels, 2004), τα συστήματα καινοτομίας μπορούν να επεκτείνουν την έννοια των εξελικτικών διαδικασιών για να συμπεριλάβουν το ρόλο των φορέων, των δικτύων και των ευρύτερων σχέσεων (Edquist, 1997) μια ιδιότητα που αν συνδυαστεί με ένα εργαλείο μετασχηματισμού όπως το MLP μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ολιστικών, διεπιστημονικών προοπτικών (Song et al., 2020). Εδώ, το MLP (Rip and Kemp, 1998; Geels, 2002) χρησιμοποιείται για την ανάλυση των τεχνολογικών μετασχηματισμών στις μεταφορές της Βραζιλίας και της Αργεντινής από κοινωνικο-τεχνική άποψη και συνδυάζεται περαιτέρω με ένα εξέχον πλαίσιο συστημάτων καινοτομίας, το σύστημα

τεχνολογικής καινοτομίας (TIS) (Carlsson and Stankiewicz, 1991; Bergek et al., 2008), για τη διερεύνηση της συστημικής εξέλιξης της τεχνολογία βιοντίζελ με την πάροδο του χρόνου. Το πλαίσιο που θα παρουσιαστεί στο επόμενο υποκεφάλαιο συνιστά την επέκταση και προσαρμογή της ενοποίησης των δύο πλαισίων όπως παρουσιάστηκε αρχικά από τους Markard and Truffer (2008).

Ο στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί το MLP για να μελετηθεί η εξέλιξη του καθεστώτος στους τομείς μεταφορών των δύο χωρών ώστε να αναδειχθεί η εξέλιξη της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα κάτω από τις συνεχείς πιέσεις από τις πετρελαϊκές, τις οικονομικές και θεσμικές κρίσεις από το ευρύτερο περιβάλλον. Στη συνέχεια, το TIS χρησιμοποιείται για να αναλυθεί η εμφάνιση του τεχνολογικού συστήματος βιοκαυσίμων και ιδίως του βιοντίζελ, οι αλληλεπιδράσεις της καινοτομίας με άλλες τεχνολογίες, και, ανιχνεύοντας δυναμικές συμπεριφορές από το MLP, την πρόοδο που του επιτρέπει να ξεφύγει από τους niche χώρους και να αποτελέσει μέρος του καθεστώτος. Μέσω αυτής της διαδικασίας, μπορούν να παρασχεθούν πληροφορίες και επιπτώσεις πολιτικής για τα μελλοντικά μονοπάτια και τις στρατηγικές απανθρακοποίησης.

6.2 Μέθοδοι και εργαλεία

Τα μεθοδολογικά χαρακτηριστικά του MLP περιγράφονται πλήρως στο Κεφάλαιο 5. Οι μεταβάσεις βιωσιμότητας συνολικά έχουν λάβει σημαντική προσοχή στη βιβλιογραφία του MLP, λόγω των σημαντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής που ενισχύουν ή εμποδίζουν τέτοιου είδους μεταβάσεις σε διάφορους τομείς (Smith et al., 2005; Geels, 2010; Geels, 2011). Αυτό ισχύει και για τις μεταφορές, ένας τομέας ο οποίος παρουσιάζει πρόσθετες προκλήσεις χαρτογράφησης του συστήματος λόγω των πολλαπλών υφιστάμενων υπο-καθεστώτων ανάλογα με το σημείο εστίασης (Geels, 2012), π.χ. το σύστημα επιβατών οδικών μεταφορών (Hirschhorn et al., 2019) διαφοροποιείται από τις εμπορευματικές μεταφορές. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις πιο παραδοσιακές εφαρμογές MLP όπου υπάρχει σαφέστερη διάκριση των ορίων του συστήματος, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη διάχυση των ΑΠΕ (Moallemi et al., 2017) (πχ., μελέτη Κεφαλαίου 5). Κάτω από αυτές τις συνθήκες λοιπόν, η συμβολή του MLP στην ανάλυση των μεταβάσεων βιωσιμότητας των μεταφορών είναι σημαντική (Whitmarsh, 2012), οδηγώντας πολυάριθμες πρόσφατες μελέτες, συμπεριλαμβανομένων ιστορικών αναλύσεων (π.χ. Geels, 2012; Roberts and Geels, 2018). Οι Berkeley et al. (2017) επικεντρώθηκαν στα BEVs και στις προσπάθειες να διαταράξουν ένα καλά

εδραιωμένο καθεστώς, ενώ οι Sharmeen και Meurs (2019) μελέτησαν τον αντίκτυπο των υπηρεσιών έξυπνης κινητικότητας στη διακυβέρνηση των διαμετακομιστικών μεταφορών. Οι Moradi και Vagnoni (2018), αντί να επικεντρωθούν σε μεμονωμένα niches, ακολούθησαν μια προσέγγιση προσανατολισμένη στο καθεστώς για τη μελέτη πιθανών μεταβάσεων αστικής κινητικότητας.

Σε αντίθεση με το πιο στατικό SIS (Breschi and Malerba, 1997; Malerba, 2002) που μελετήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια και τα υπόλοιπα εθνικά (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993) και περιφερειακά (Cooke et al., 1997; Asheim and Isaksen, 1997) συστήματα καινοτομίας, το TIS (Carlsson and Stankiewicz, 1991) αποτελεί ένα ποιοτικό πλαίσιο προσανατολισμένο στην ίδια τη διαδικασία διάχυσης μιας καινοτομίας μέσα από τη συστημική εξέλιξη (process-oriented), καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου (Bergek et al., 2008). Παραμένοντας στην ευρύτερη κατηγορία των συστημάτων καινοτομίας, εξετάζει τις αλληλεπιδράσεις των φορέων ενός συστήματος μέσα από μια συστημική προοπτική, και συγκεκριμένα τη δημιουργία και τη διάδοση της τεχνολογίας μέσα από δίκτυα και αλληλεπιδράσεις φορέων κάτω από ένα σύνολο θεσμικών και τεχνολογικών κανόνων (Carlsson and Stankiewicz, 1991). Εξαιτίας των παραπάνω, οι μελέτες με βάση το TIS ακολουθούν μια προσέγγιση βασισμένη σε λειτουργίες του συστήματος. Συγκεκριμένα ορίζεται ένα σύνολο από τέτοιες λειτουργίες οι οποίες αντιστοιχούν σε βασικά στοιχεία του συστήματος και οι οποίες συνεισφέρουν ώστε το σύστημα να επιτύχει τους στόχους του (Johnson and Jacobsson, 2001). Υπάρχουν αρκετές εκδοχές συνόλων λειτουργιών στη βιβλιογραφία, αλλά με μικρές διαφορές μεταξύ τους (Hekkert and Negro, 2009). Εδώ, ακολουθούμε τις λειτουργίες που υιοθετήθηκαν από τους Hekkert et al. (2007) (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1. Βασικές λειτουργίες του συστήματος TIS σύμφωνα με τους Hekkert et al. (2007)

Λειτουργία	Περιγραφή:
Λ1. Επιχειρηματικές Δραστηριότητες	Επιχειρήσεις που αξιοποιούν νέες τεχνολογικές ευκαιρίες
Λ2. Ανάπτυξη Γνώσης	Δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης για την παραγωγή νέας γνώσης
Λ3. Διάχυση Γνώσης	Επικοινωνία και διάχυση των αποτελεσμάτων της Ε&Α μεταξύ των φορέων
Λ4. Ερευνητική Καθοδήγηση	Συγκεκριμένοι στόχοι και προσδοκίες που καθοδηγούν την έρευνα

Λ5. Δημιουργία Αγοράς	Δημιουργία αγοράς (συχνά προστατευμένου) για την εξέλιξη των νέων τεχνολογιών
Λ6. Κινητοποίηση Πόρων	Ανεύρεση οικονομικών, ανθρώπινων και υλικών πόρων
Λ7. Δημιουργία κοινωνικής νομιμοποίησης/αντιμετώπιση αντίστασης στην αλλαγή	Κοινωνική αποδοχή ή αντίθεση σε μια νέα τεχνολογία από βασικούς φορείς

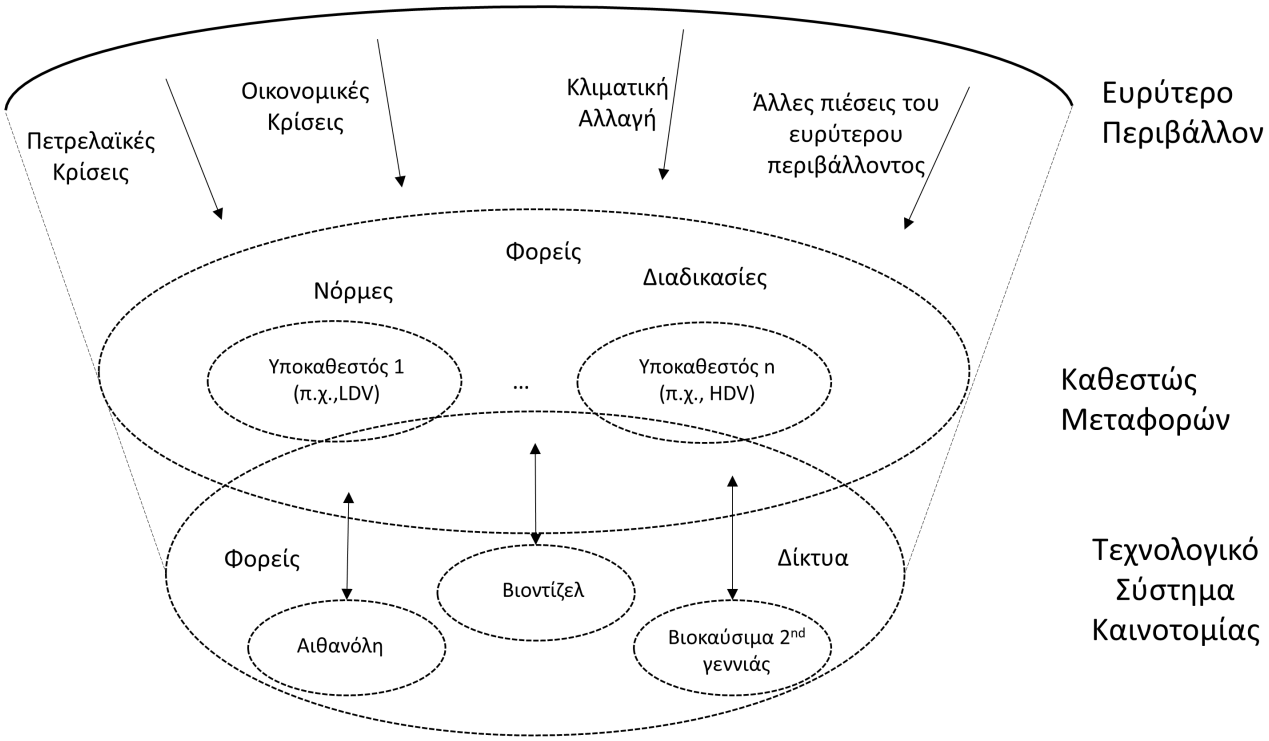
Όπως το MLP, το TIS έλαβε σημαντική προσοχή στις μελέτες της θεωρίας μεταβάσεων στον τομέα μεταφορών, ιδίως όσον αφορά τα οχήματα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Köhler et al., 2013) ή τις τεχνολογίες εναλλακτικών καυσίμων, όπως τα βιοκαύσιμα (Suurs and Hekkert, 2009), το υδρογόνο (Suurs et al., 2009) και το φυσικό αέριο (Suurs et al., 2010), και πιο εξειδικευμένες μελέτες περίπτωσης όπως τα ηλεκτρικά ποδήλατα (Zuev, 2020) ή τα φορτηγά χωρίς οδηγό (Engholm et al., 2020). Οι Hacking et al. (2019) μελέτησαν την ιστορική εξέλιξη και διάδοση των κυψελών καυσίμου υδρογόνου στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ οι Bach et al. (2020) επικεντρώθηκαν στο υδρογόνο και τις ηλεκτρικές λύσεις με μπαταρία στον νορβηγικό ναυτιλιακό τομέα. Τα βιοκαύσιμα έχουν επίσης λάβει σημαντική προσοχή: ο Chung (2018) μελέτησε βιοντίζελ στην Ταϊβάν, ενώ οι Furtado et al. (2020) την αιθανόλη δεύτερης γενιάς. Προφανώς, η εξέλιξη ενός TIS δεν διασφαλίζει πάντα τη βιώσιμη μετάβαση, καθώς μπορεί να υπάρξουν εγκλωβισμοί σε πιθανώς πιο αποτελεσματικές, από τη σκοπιά της μεγέθυνσης του συστήματος καινοτομίας, οδοί χωρίς απαραίτητα να αντικατοπτρίζουν ριζικούς μετασχηματισμούς απανθρακοποίησης.

Ποικίλες μελέτες αναδεικνύουν τη δυναμική του συνδυασμού μεθοδολογιών που ακολουθούν μια συστημική προσέγγιση στην αποτύπωση και την εξέλιξη των μεταβάσεων βιωσιμότητας (Markard et al., 2012; Köhler et al., 2019), για τη δημιουργία συνεκτικών, ισχυρών αφηγήσεων. Οι Kim et al. (2019) συνδύασαν το MLP με ένα δυναμικό μοντέλο για την ανάλυση της μετάβασης των βιοκαυσίμων στην αεροπορία. Οι Lilliestam et al. (2020) χρησιμοποίησαν το TIS για να μελετήσουν τη δημιουργία γνώσης και τη διάχυση της τεχνολογίας CSP, ενώ πραγματοποίησαν μια ανάλυση του κύκλου ζωής της ίδιας της τεχνολογίας σε μια παρόμοια λογική με αυτή που ακολουθήθηκε στο Κεφάλαιο 5 και την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να τη απολιγνιτοποίηση στην Ελλάδα (Nikas et al., 2020). Αποτελώντας μέρος παρόμοιων θεωρητικών πεδίων με στενά συνδεδεμένες έννοιες, το MLP και το TIS έχουν ενσωματωθεί (Markard and Truffer, 2008) για να επιτρέψουν την εκμετάλλευση μη αμοιβαίων πλεονεκτημάτων και να παρέχουν καλύτερη κατανόηση των ριζοσπαστικών

διαδικασιών καινοτομίας και των κοινωνικο-τεχνικών μετασχηματισμών. Για παράδειγμα, το TIS δίνει ιδιαίτερη έμφαση στο ρόλο των οργανισμών και γενικότερα των φορέων, συμπληρώνοντας αποτελεσματικά την υπο-εκπροσώπηση που έχει η αντίστοιχη έννοια εντός του MLP (Geels, 2011). Λόγω του συμπληρωματικού χαρακτήρα τους, κατά την εφαρμογή του ολοκληρωμένου πλαισίου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεξαρτήσεις για την αποσαφήνιση του πεδίου εφαρμογής κάθε πλαισίου. Αυτό επιτρέπει προσαρμογές της ολοκληρωμένης προσέγγισης στις ανάγκες και τα γεωγραφικά πλαίσια κάθε μελέτης (Markard et al., 2015; Coenen, 2015, Coenen et al., 2012), συμβάλλοντας έτσι σε εμπειρικές εφαρμογές του ολοκληρωμένου πλαισίου, σε σύγκριση με μια αυτόνομη ανάλυση MLP (Geels, 2011). Οι Miedema et al. (74) χρησιμοποίησαν το TIS για να μελετήσουν την αεριοποίηση βιομάζας ως πιθανή λύση για την παραγωγή πράσινου αερίου, πριν εφαρμόσουν το MLP για να διερευνήσουν σε βάθος την διαμόρφωση του καθεστώτος φυσικού αερίου σε επίπεδο τομέα και τη διάχυση ανανεώσιμης ενέργειας για θέρμανση στον ολλανδικό οικιακό τομέα. Ο Edsand (2017) χρησιμοποίησε το TIS για να κατανοήσει την αργή διάχυση της αιολικής ενέργειας στην Κολομβία και το MLP για να εξετάσει τις επιρροές και τις πιέσεις από το ευρύτερο περιβάλλον.

Εδώ, το MLP χρησιμοποιείται για να μελετήσει την ιστορική εξέλιξη του καθεστώτος του τομέα μεταφορών της Βραζιλίας που κυριαρχείται από ορυκτά καύσιμα και στη συνέχεια της Αργεντινής με αναφορές στη Βραζιλία, καθώς και ευρύτερες επιρροές του ευρύτερου περιβάλλοντος στη δομή τους, εν μέσω κρίσεων και άλλων μορφών πιέσεων. Η ανάλυση συνδυάζεται με την εφαρμογή του TIS βιοντίζελ και των δύο χωρών, με αναφορές στις τροχιές όπως αυτές προσδιορίζονται από το MLP, για να μελετηθεί η εμφάνιση και η προοδευτική εξέλιξή του συστήματος αυτού, που βοήθησε συγκεκριμένες τεχνολογίες να εμφανιστούν ή ενδεχομένως να εξαφανιστούν από το καθεστώς στο καθεστώς. Αυτή η δυναμική συμπεριφορά/ιδιότητα ενός TIS να τοποθετείται είτε στο μέσο- είτε στο μικρο-επίπεδο (είτε στα σύνορα αυτών των δύο), είναι μια βασική διαφορά και πλεονέκτημα σε σχέση με την εγγενή niche έννοια στην τυπολογία του MLP (Markard and Truffer, 2008), η οποία επιτρέπει να μελετηθούν ευκολότερα αυτές οι ιστορικές μεταβολές στον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τεχνολογίες στα επίπεδα του MLP. Επιπλέον, η εστίαση στο TIS του βιοντίζελ έναντι της απλής αντιμετώπισης του βιοντίζελ ως niche τεχνολογία, όπως στη συμβατική ιεραρχία του MLP, επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση της διάχυσης της καινοτομίας σύμφωνα με τις αλληλεπιδράσεις με διαφορετικές τεχνολογίες, όπως οι πρώιμες πρωτοβουλίες αιθανόλης στη Βραζιλία, και του τρόπου με τον οποίο οι προηγούμενες τάσεις μπορούν να ενημερώσουν

τις μελλοντικές niche τεχνολογίες, όπως τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς που βασίζονται σε μη βρώσιμες καλλιέργειες. Από την άλλη, η χρήση του MLP, έναντι μιας συμβατικής ανάλυσης TIS παρέχει επίσης την ευκαιρία να επικεντρωθούμε σε εξελίξεις που προκαλούν τριγμούς προερχόμενες από το ευρύτερο περιβάλλον (π.χ., κρίσεις που ταλαιπώρησαν έντονα τις δύο χώρες) και να αναλύσουμε την επίδραση αυτών των γεγονότων στην επέκταση ή όχι πιο βιώσιμων εναλλακτικών. Συνεπώς η σύνθεση των δύο που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζει σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι και των δύο μεμονωμένων προσεγγίσεων, απαντώντας σε περιορισμούς και τις συνεπαγόμενες κριτικές που ενσωματώνει η κάθε μεθοδολογία (Geels, 2011). Έτσι, αντλώντας από τους Markard and Truffer (2008) και την ιεραρχία του MLP (Geels, 2002), η Εικόνα 6.1 παρουσιάζει το εννοιολογικό πλαίσιο για την ενοποίηση των MLP-TIS για τον τομέα των μεταφορών των δύο χωρών και την εμφάνιση του βιοντίζελ, αποτυπώνοντας τη διάκριση συνόρων και φόρτου εργασίας των δύο πλαισίων.



Εικόνα 6.1. Μεθοδολογική προσέγγιση της ενοποίησης του MLP και του TIS για τον τομέα των μεταφορών με έμφαση στην καινοτομία βιοντίζελ. Πρωτότυπη διαμόρφωση με βάση Geels (2002); Markard and Truffer (2008)

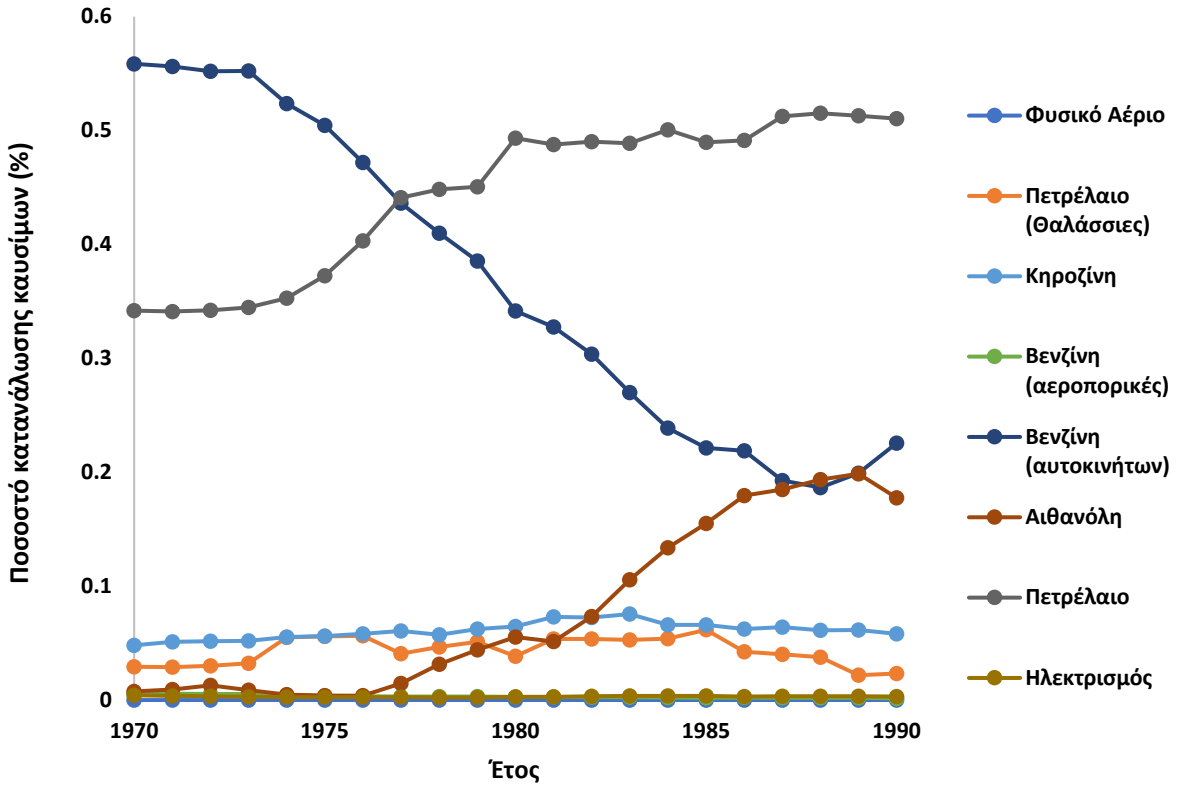
6.3 Η μετάβαση χαμηλών εκπομπών του τομέα μεταφορών της Βραζιλίας από τη σκοπιά του MLP

Καθεστώς

Η Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Βραζιλίας είναι η μεγαλύτερη χώρα της Λατινικής Αμερικής, καλύπτοντας έκταση 8,515,767 km2 με πληθυσμό περίπου 200 εκατομμυρίων ανθρώπων (de Moura et al., 2017), και αντιμετωπίζοντας σημαντικές δημογραφικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της γήρανσης και της αστικοποίησης (Carvalho et al., 2020). Ιστορικά, οι υποδομές μεταφορών στη Βραζιλία, ειδικότερα οι οδικές και σιδηροδρομικές, θεωρούνταν κακές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950-1960 (Rodríguez-Pose and Arbix, 2001). Έκτοτε, οι υποδομές άρχισαν να λαμβάνουν τη σημερινή τους μορφή, μετά από εκτεταμένη αποψίλωση δασών και εσωτερική μετανάστευση το 1970, οδηγώντας στην υλοποίηση οδικών έργων χρηματοδοτούμενων από την κυβέρνηση (Brondizio and Moran, 2012). Η προώθηση πολιτικών ανάπτυξης των οδικών μεταφορών δημιούργησε ένα εκτεταμένο οδικό δίκτυο και αύξησε ραγδαία τον στόλο των οχημάτων, αλλά ταυτόχρονα περιόρισε την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων, ενώ τα λιμάνια άρχισαν να επεκτείνονται μετά τη δεκαετία του 1990 (Padilha and Ng, 2012). Αντίθετα με τις καθυστερήσεις στη δημιουργία υποδομών για τις μεταφορές, οι δραστηριότητες για την εξερεύνηση και παραγωγή πετρελαίου διεξάγονται ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα. Μάλιστα, η πρώτη γεώτρηση για την εξόρυξη πετρελαίου καταγράφηκε για πρώτη φορά στο Bofete το 1897, ενώ το 1941 ανακαλύφθηκε το πρώτο κοίτασμα πετρελαίου στην Candeias (Peyerl, 2019), ανοίγοντας το δρόμο για τη δημιουργία της Petrobras το 1954, του πιο σημαντικού και κυρίαρχου παράγοντα στη πετρελαϊκή βιομηχανία της χώρας (Dantas and Bell, 2009), και της IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás) ως αντιπροσωπευτικής οργάνωσης βιομηχανικών εταιρειών.

Το 1970, η συνολική κατανάλωση ενέργειας της Βραζιλίας αντιστοιχούσε σε 60,635 ktoe, με τις μεταφορές να αποτελούν το 21.76% της συνολικής κατανάλωσης, όντας ο τομέας με τη δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση μετά τη βιομηχανία (CEIC, 2018). Στη συνέχεια, η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε σταθερά, παρά τις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και του 1979 και τη χαμένη δεκαετία του 1980 στη Λατινική Αμερική (Ramirez, 2000) που μείωσε ραγδαία αλλά προσωρινά την συνολική κατανάλωση, με τις μεταφορές να μην ακολουθούν τη συνολική τάση, φθάνοντας σχεδόν το 28% μέχρι το 1990. Κυρίαρχος παράγοντας εκπομπών CO2 στη Βραζιλία που αντιπροσωπεύει σχεδόν το 40% των συνολικών εκπομπών (EDGAR, 2017), οι

μεταφορές αποτελούν ιστορικά έναν τομέα υψηλής έντασης εκπομπών που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα και ιδίως στα προϊόντα πετρελαίου (Εικόνα 6.2), με τις οδικές μεταφορές να κυριαρχούν (80%) επί της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (CEIC, 2018).

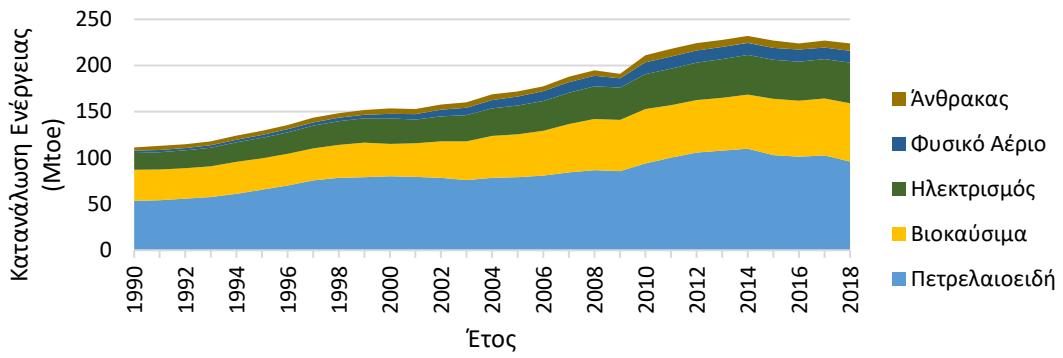


Εικόνα 6.2. Κατανάλωσης ανά τύπο καυσίμου στις μεταφορές της Βραζιλίας κατά την περίοδο 1970-1990.

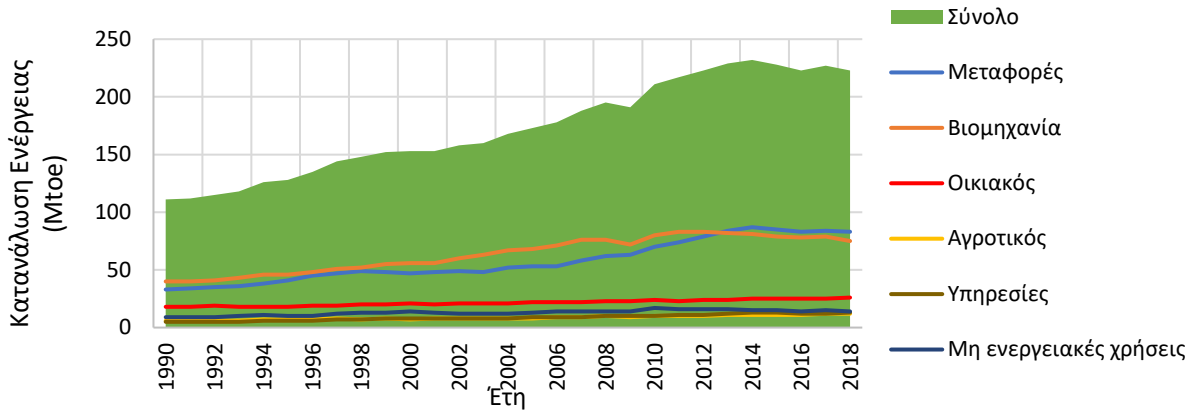
Το 1970, η βενζίνη και το ντίζελ αντιπροσώπευαν πάνω από το 90% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του τομέα, με τη βενζίνη να είναι το κυρίαρχο καύσιμο μέχρι το 1977 (Εικόνα 6.2). Ωστόσο, το 1974, αρχίζει μια μακροχρόνια μείωση των μεριδίων βενζίνης με την αιθανόλη να λειτουργεί ως υποκατάστατο καύσιμο (Salvo et al., 2017; Luchansky and Monks, 2009). Αργότερα εκείνη τη δεκαετία, τα μερίδια του ντίζελ αυξήθηκαν σημαντικά, για να φτάσουν να σταθεροποιηθούν περίπου στο 50% την επόμενη δεκαετία. Οι δύο δυνάμεις της αυξανόμενης ζήτησης και της αύξησης της αιθανόλης έπαιξαν ρόλο στην αποσταθεροποίηση της βενζίνης στο υπο-καθεστώς LDV. Από την άλλη, το ντίζελ παρέμεινε προστατευμένο από αυτή την πίεση, καθώς χρησιμοποιείται κυρίως στις εμπορευματικές μεταφορές και στα

επιβατικά λεωφορεία. Αυτό οδήγησε στην καθιέρωση του ντίζελ ως κυρίαρχου καυσίμου στις μεταφορές της Βραζιλίας, παρόλο που υπάρχει αμελητέος ανταγωνισμός μεταξύ ντίζελ και βενζίνης, σε αντίθεση για παράδειγμα με την Ευρώπη. Η αύξηση της αιθανόλης στο μείγμα καυσίμων για τις μεταφορές υπογραμμίζει τις δυνατότητες των βιοκαυσίμων στη Βραζιλία. Ωστόσο, δεδομένου ότι η αιθανόλη είναι κυρίως υποκατάστατο της βενζίνης, η εστίαση σε διαφορετικά βιοκαύσιμα όπως το βιοντίζελ αναδείχθηκε ως πρόκληση για την επόμενη περίοδο, ώστε να καταστεί δυνατή η διάχυση της καινοτομίας από τα επιβατικά οχήματα σε άλλα υπο-καθεστώτα μεταφορών (όπως τα HDV).

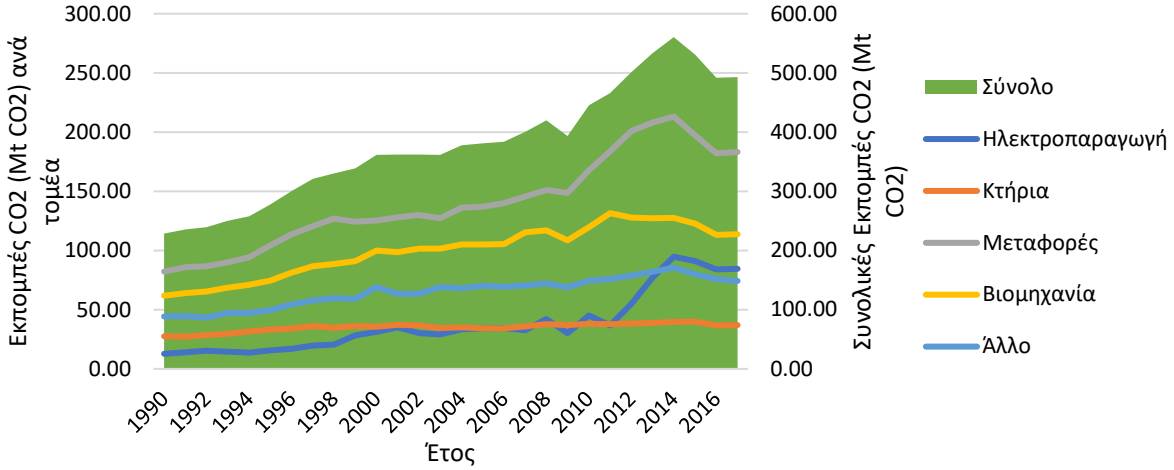
Οι παρατηρούμενες τάσεις αυτής της πρώτης υπό εξέταση περιόδου (μέχρι το 1990) συνεχίστηκαν μέχρι και το 2017, με τη χώρα να εξακολουθεί να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα και τα προϊόντα πετρελαίου (σχεδόν 50%) για να καλύψει την αυξανόμενη ενεργειακή της ζήτηση (Εικόνα 6.3) (Muntean et al., 2018). Το 1997, ο νόμος 9478/1997 θέσπισε ένα νέο πλαίσιο για την κατανομή των δικαιωμάτων εκμετάλλευσης πετρελαίου, ιδρύοντας την ANP (National Petroleum Agency) (Postali, 2009) και το CNPE (National Council for Energy Policy), υπό τον συντονισμό του Υπουργείου Ορυχείων και Ενέργειας (Rosillo-Calle et al., 1998). Η αύξηση των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στη λεκάνη του Campos στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (Bruhn et al., 2003) διαμόρφωσε την κυριαρχία του πετρελαίου, καθώς το 85% της συνολικής παραγωγής πετρελαίου στη χώρα προέρχεται από αυτήν την επαρχία (dos Santos Silvestre et al., 2009). Ωστόσο, ένα βασικό πλεονέκτημα του ενεργειακού μείγματος της Βραζιλίας είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια—τρίτη σε κατανάλωση—παράγεται κυρίως από υδροηλεκτρική ενέργεια, ενώ η χρήση ορυκτών καυσίμων (κυρίως ντίζελ) περιορίζεται σε περίπου 17% (Rocha et al., 2017; de Lima et al., 2018). Αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην επιβράδυνση την τελευταία δεκαετία της αυξανόμενης τάσης της συνολικής ζήτησης ενέργειας, η οποία κυμαίνεται γύρω στα 225 Mtoe, τάση που παρατηρείται επίσης στην κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές από τις μεταφορές (De Oliveira-De Jesus et al., 2020).



α)



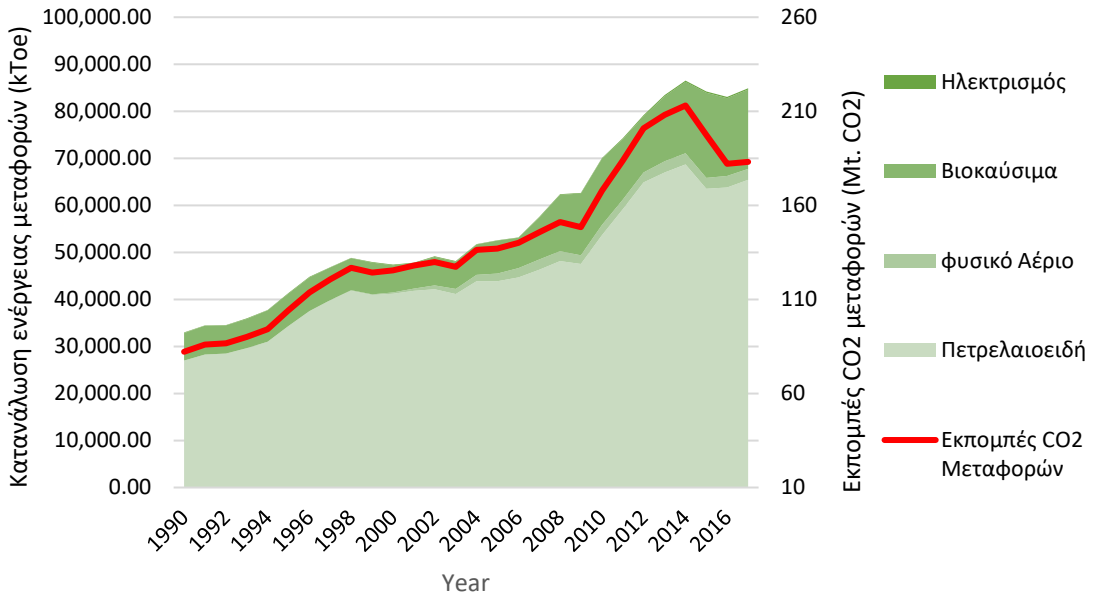
β)



γ)

Εικόνα 6.3. Κατανάλωση ενέργειας ανά α) τεχνολογία/καύσιμο, β) τομέα και γ) εκπομπές CO2 ανά τομέα στη Βραζιλία (εξαιρουμένων των AFOLU). Στο σχήμα 3γ ο πρωταρχικός άξονας αναφέρεται στις εκπομπές CO2 (έγχρωμες γραμμές) ανά τομέα και ο δευτερεύων άξονας στις συνολικές εκπομπές CO2 (πράσινη περιοχή)

Παρά την πρόσφατη σταθεροποίηση σε απόλυτους αριθμούς, οι μεταφορές έφτασαν σχεδόν το 37% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το 2017, ξεπερνώντας τη βιομηχανία το 2013 για πρώτη φορά από το 1970. Ταυτόχρονα, οι συνολικές εκπομπές CO2 μειώθηκαν ελαφρώς τα τελευταία χρόνια, με τις μεταφορές ωστόσο να παραμένουν σταθερές σχεδόν στο 50%, υπογραμμίζοντας ότι η πρόοδος συνολικά σε επίπεδο χρήσης βιοκαυσίμων δεν ήταν εφάμιλλη με την προσπάθεια που επιχειρήθηκε τις προηγούμενες δεκαετίες μέσω της αιθανόλης, καθώς το μερίδιό τους αυξήθηκε αργά από το 2000. Αυτή η αύξηση άρχισε να διαμορφώνεται το 2005 με την εισαγωγή των νόμων 11097, 11116, και από ψηφίσματα που καθιερώνουν τη χρήση βιοκαυσίμων και βιοντίζελ, προωθώντας τη χρήση συγκεκριμένων ποσοστών ανάμειξης στο μείγμα (Pousa et al., 2007) ως μέρος του συνολικότερου προγράμματος προώθησης του βιοντίζελ PNPB (Brazilian Biodiesel Program) (Rico and Sauer, 2015). Τέτοια καύσιμα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μείωσης της έντασης άνθρακα (Lepitzki and Axsen, 2018), παρά τις διαμάχες σχετικά με τη λογιστική καταγραφή των εκπομπών που συνεπάγεται η χρήση βιοκαυσίμων (Rajagopal and Plevin, 2013). Με τις μεταφορές να καταναλώνουν παρόμοιες ποσότητες ενέργειας με τη βιομηχανία, αλλά να παράγουν σχεδόν διπλάσια ποσότητα εκπομπών, η αντιμετώπιση της έντασης εκπομπών αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τη μελλοντική εξέλιξη του τομέα.



Εικόνα 6.4. Εκπομπές CO2 από τις μεταφορές σε σύγκριση με την κατανάλωση ενέργειας από τα καύσιμα και στη Βραζιλία. Ο κύριος άξονας αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας (πράσινες περιοχές) και ο δευτερεύων άξονας στις εκπομπές (κόκκινη γραμμή)

Συγκρίνοντας τις εκπομπές από τις μεταφορές και το ενεργειακό μείγμα από το 1990 έως το 2005, παρατηρούμε ότι οι εκπομπές άνθρακα αυξάνονται σταθερά, ακολουθώντας παρόμοιες τάσεις με τη ζήτηση ενέργειας στις μεταφορές, υπογραμμίζοντας την περιορισμένη πρόσθετη—πέρα δηλαδή από την προ 1990 περίοδο—επίδραση της αιθανόλης (Εικόνα 6.4). Από την άλλη, η τάση των εκπομπών διαφοροποιήθηκε από το προηγούμενο μοτίβο μόνο μετά το 2005, όταν τέθηκαν σε ισχύ οι προαναφερθέντες νόμοι σχετικά με το βιοντίζελ (ειδικά μετά το 2008) και κυρίως με την επέκταση του στόλου LDV και την εισαγωγή αποδοτικότερων ευέλικτων οχημάτων το 2003 (Nogueira et al., 2015), γεγονός που οδήγησε κατά συνέπεια σε αύξηση των μεριδίων βιοκαυσίμων. Ωστόσο, μετά τη χρηματοπιστωτική κρίση του 2008, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της ζήτησης ενέργειας, κυρίως σε προϊόντα πετρελαίου σε διάφορα μέσα μεταφοράς, τα οποία απολάμβαναν επιδοτήσεις στις τιμές του πετρελαίου σε σύγκριση με τους υψηλούς φόρους βενζίνης (Hallack et al., 2020). Σε συνδυασμό με ένα μεικτό ρυθμιστικό καθεστώς (Νόμοι 12,276/2010, 12,304/2010, 12,351/2010, συμπληρώνοντας τον 9,478/1997) που επέτρεψε σε δημόσιες εταιρείες όπως η Petrobras να εκμεταλλευτούν τα άφθονα αποθέματα όπως π.χ., στο Pre-salt υπόστρωμα (Almada and Parente, 2013), η πρόοδος και η επιρροή των βιοκαυσίμων ήταν περιορισμένη, αποτυγχάνοντας να βελτιώσει τον μετριασμό των εκπομπών. Το 2008, βασικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων ιδιωτικών εταιρειών, όπως οι κατασκευαστές αυτοκινήτων, δεσμεύτηκαν να στηρίξουν τα βιοκαύσιμα, πουλώντας αυτοκίνητα με πιο βιώσιμα μείγματα, όπως αιθανόλη (E85) και άλλα μείγματα, συμπεριλαμβανομένου του βιοντίζελ. Κατά συνέπεια, τα μισά από τα νέα οχήματα που πωλήθηκαν εκείνο το έτος χρησιμοποιούσαν καθαρότερες μορφές καυσίμου (Jayed et al., 2011). Μαζί με τη σοβαρή οικονομική κρίση του 2014, αυτό συνέβαλε σε νέα αύξηση των μεριδίων βιοκαυσίμων στις μεταφορές και σε σημαντικές περικοπές εκπομπών μετά το 2014.

Το 2017, μετά τη συμφωνία του Παρισιού, και για να εκπληρωθεί το NDC της χώρας, θεσπίστηκε η εθνική πολιτική της Βραζιλίας για τα βιοκαύσιμα (RenovaBio) για να παρέχει στους παραγωγούς βιοκαυσίμων οικονομικά κίνητρα, αναμένοντας σημαντική αύξηση του όγκου παραγωγής (Grassi and Pereira, 2019). Το πρόγραμμα αποσκοπούσε στη δημιουργία μιας καθολικής αγοράς βιοκαυσίμων με έναν εμπορικό μηχανισμό, αποφεύγοντας την ανάγκη οι παραγωγοί να διαπραγματεύονται απευθείας με τους διανομείς (Denny, 2020). Ένα βασικό πλεονέκτημα μιας τέτοιας πρωτοβουλίας έγκειται στο ότι δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά σε ένα καύσιμο, αλλά ενισχύει διαφορετικούς τύπους, συμπεριλαμβανομένων των προηγμένων βιοκαυσίμων, δεδομένου ότι μέρος της αγοράς περιλαμβάνει την εμπορευματοποίηση

πιστωτικών μονάδων άνθρακα που δημιουργούνται από τη μετάβαση από ορυκτά καύσιμα σε βιοκαύσιμα (CBIO) (Salina et al., 2020).

Ευρύτερο Περιβάλλον

Οι παράγοντες του ευρύτερου περιβάλλοντος έχουν διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του σημερινού καθεστώτος στις μεταφορές της Βραζιλίας και στην εμφάνιση της καινοτομίας, είτε παρέχοντας παράθυρα ευκαιριών είτε δημιουργώντας ρωγμές στις κυρίαρχες εγκατεστημένες τεχνολογίες.

Κατά τη διάρκεια του «βραζιλιάνικου θαύματος» (1967-1973), η οικονομία της χώρας παρουσίασε σημαντική αύξηση του ΑΕΠ και της παραγωγικότητας εργασίας (Mateo, 2018). Αυτή η περίοδος ευημερίας βασίστηκε στις χαμηλές τιμές του πετρελαίου και στο γεγονός ότι η χώρα ενεργούσε ως ο κύριος εισαγωγέας πετρελαίου από τις χώρες του ΟΠΕΚ για να προμηθεύσει στη συνέχεια τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Με την πετρελαϊκή κρίση του 1973, οι αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου και οι αναπτυξιακές προκλήσεις πυροδότησαν την επανεκτίμηση της ενεργειακής στρατηγικής της Βραζιλίας ενόψει ενός τεράστιου εμπορικού ελλείμματος (Perry and Kern, 1978). Για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις, η κυβέρνηση στράφηκε στην εκμετάλλευση των εγχώριων φυσικών πόρων της, υποστηρίζοντας την Petrobras σε δραστηριότητες εξερεύνησης, αυξάνοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια μέσω της υδροηλεκτρική ενέργειας, μετριάζοντας έτσι τις επιπτώσεις της κρίσης (Vernon, 1976). Το αποτέλεσμα ήταν η προώθηση του προγράμματος ProAlcool, το οποίο είχε ως στόχο την αντικατάσταση του εισαγόμενου πετρελαίου με αιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμο και τη χρήση αυτοκινήτων που λειτουργούν με μείγματα καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της αιθανόλης και της βενζίνης (Nieuwenhuis and Wells, 2003; Cavalcanti and Jalles, 2013). Ως εκ τούτου, το πρόγραμμα ProAlcool λειτούργησε ως ένα έμπρακτο παράδειγμα μιας τεχνολογίας/καινοτομίας που διαχύθηκε ως αποτέλεσμα ρωγμών στο κυρίαρχο σύστημα που προκλήθηκαν από τις πιέσεις του ευρύτερου περιβάλλοντος, και που άνοιξαν ένα παράθυρο ευκαιρίας για την επέκταση της περιβαλλοντικής καινοτομίας και των πολιτικών μετριασμού (Tongur and Engwall, 2017), αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις προκλήσεις που προκαλούνται από την κρίση. Το αποτέλεσμα αυτής της μεγάλης και ξαφνικής αλλαγής του ευρύτερου περιβάλλοντος παρουσιάζει στοιχεία από συνδυασμούς μονοπατιών που έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία (Geels et al., 2007; Geels et al., 2016), με την αιθανόλη και τη βενζίνη να ακολουθούν μια πορεία αναδιαμόρφωσης που χαρακτηρίζεται από τη

συμβιωτική φύση των δύο τεχνολογιών στο καθεστώς LDV και το ντίζελ να ακολουθεί μια τροχιά αναπαραγωγής της υφιστάμενης κατάστασης στο καθεστώς εμπορευματικών μεταφορών.

Το τέλος της δικτατορίας και η εγκαθίδρυση μιας δημοκρατικής κυβέρνησης το 1985 συνέπεσε με την πρόκληση να ξεπεραστούν τα προβλήματα που σχετίζονται με το εξωτερικό χρέος και τον πληθωρισμό που προκλήθηκαν από το στρατιωτικό καθεστώς (Mateo 2018; Nassif et al., 2020), το οποίο με τη σειρά του δημιούργησε επίσης πολιτικές διαμάχες σχετικά με τα βιοκαύσιμα το 1989. Το ProAlcool ήρθε αντιμέτωπο με έντονη κοινωνική κριτική λόγω των δεσμών του με το στρατιωτικό καθεστώς (Stattman et al., 2013), καθώς και πιέσεις από παγκόσμιους παράγοντες που ισχυρίζονταν ότι οι μειώσεις της τιμής του πετρελαίου κατέστησαν την αιθανόλη ακριβή, υπονομεύοντας το αρχικό κίνητρο του προγράμματος (Hall et al., 1992). Η κυβέρνηση προσπάθησε να παρατείνει την ύπαρξή του μειώνοντας τις τιμές, αλλά μια παράλληλη αύξηση των τιμών της ζάχαρης μείωσε τη δυνατότητα επέκτασης της παραγωγής, αναγκάζοντας την κυβέρνηση να υποβαθμίσει το ProAlcool, περιορίζοντας τη συμμετοχή της αιθανόλης στο μείγμα. Αυτοί οι περιορισμοί στην επέκταση της αιθανόλης λειτούργησαν ως παράδειγμα για το πώς οι πιέσεις του ευρύτερου περιβάλλοντος μπορούν να επηρεάσουν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση που κατάφερε να μεταβεί από το μικρο- στο μέσο-επίπεδο του MLP. Στην πραγματικότητα, η πρόοδος στα βιοκαύσιμα δύσκολα αποδίδεται στην αιθανόλη τα τελευταία χρόνια (Εικόνα 6.4), δεδομένου ότι το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, κατά 30%, της αιθανόλης επιβάλλει ουσιαστικά ένα όριο στην τιμή της σε σύγκριση με τη βενζίνη (Pacini and Silveira, 2011).

Μέχρι το 2010, η βραζιλιάνικη οικονομία αναπτυσσόταν ραγδαία, με σημαντικές αυξήσεις στο εισόδημα των πολιτών (Andrade and Garcia, 2015). Η αύξηση αυτή συσχετίζεται με την αύξηση της συνολικής ζήτησης ενέργειας, ένα φαινόμενο που έχει εδραιωθεί στη βιβλιογραφία (Al-Mulali et al., 2016), με την κατανάλωση μεταφορών να διπλασιάζεται σχεδόν από το 2003 έως το 2013 (Εικόνα 6.3). Η περίοδος αυτής ακολουθήθηκε από μια από τις σοβαρότερες υφέσεις, το 2014, οδηγώντας σε μια περίοδο πολιτικής και χρηματοπιστωτικής αστάθειας (Raul Boschi and Pinho, 2019), με την οικονομία να συρρικνώνεται κατά 3,8% το 2015 (Rasella et al., 2018). Αυτή η κρίση, ωστόσο, σε συνδυασμό με την ύφεση του 2008, και σε παρόμοια λογική με τις επιπτώσεις των προηγούμενων πετρελαϊκών κρίσεων, παρείχε άλλο ένα παράθυρο ευκαιρίας για την εμφάνιση βιώσιμων μεταρρυθμίσεων (O'Riordan, 2013). Ως αποτέλεσμα, η αύξηση της

χρήσης των βιοκαυσίμων ξεκίνησε εκ νέου πρόσφατα (Εικόνα 6.4) και αναμένεται να συνεχιστεί με το RenovaBio, ενώ οι εκπομπές CO2 έχουν σταθεροποιηθεί μετά από μια μακρά περίοδο συνεχούς αύξησης (Εικόνα 6.3), με τις εκπομπές από τις μεταφορές να παρουσιάζουν σημαντική μείωση μετά την κρίση. Υπό αυτές τις συνθήκες, δεδομένης της κυριαρχίας του πετρελαίου στις μεταφορές, το βιοντίζελ μπορεί να βρει την απαραίτητη ευκαιρία να εισέλθει και εγκατασταθεί στο υφιστάμενο καθεστώς (De Oliveira and Coelho, 2017).

6.4 Η μετάβαση χαμηλών εκπομπών του τομέα μεταφορών της Αργεντινής από τη σκοπιά του MLP

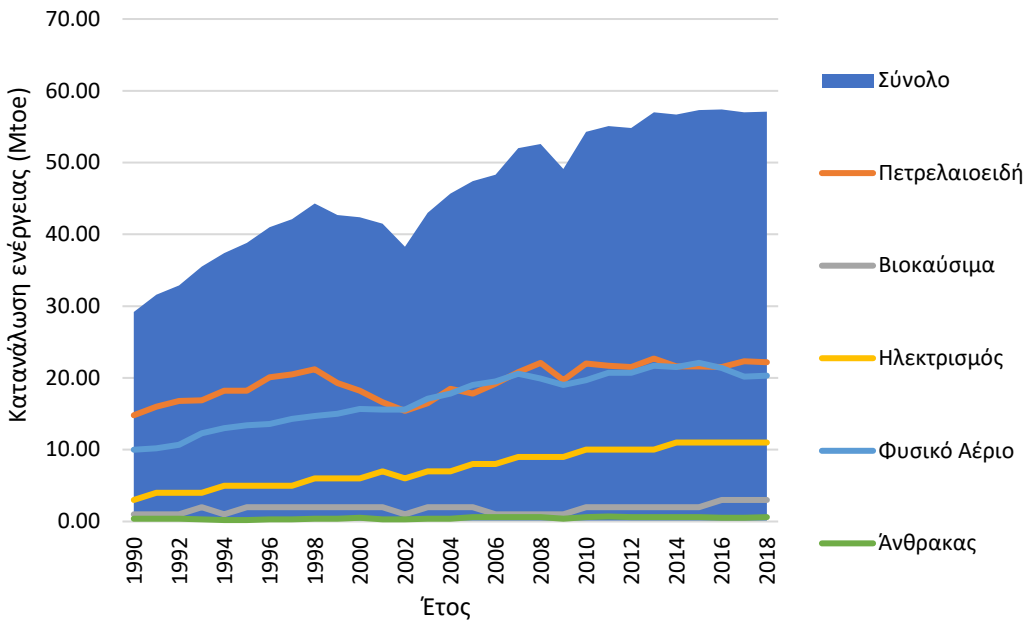
Καθεστώς

Η Δημοκρατία της Αργεντινής είναι η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα της Λατινικής Αμερικής μετά τη Βραζιλία, καλύπτοντας έκταση 2,780,400 km2 και έχοντας πληθυσμό σχεδόν 45 εκατομμύρια ανθρώπους, με τον πληθυσμό αυτόν να αυξάνεται αλλά και να παρουσιάζει φαινόμενα αστικοποίησης (Pou et al., 2017). Οι εγχώριες υποδομές μεταφορών ξεκίνησαν να αναπτύσσονται προς το τέλος της περιόδου του αποικισμού της Αμερικής από την Ισπανία το 1857, με την εμφάνιση της πρώτης σιδηροδρομικής γραμμής απόστασης επτά μιλίων που συνέδεε το Μπουένος Άιρες με τα τοπικά χωριά (Pulley, 1966). Η ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου συνεχίστηκε τον 20ό αιώνα μέχρι τη δεκαετία του 1960, όταν η ιδιωτικοποίηση των σιδηροδρόμων οδήγησε σε φαινόμενα ελλιπούς συντήρησης και άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας και των οδικών δικτύων (Monk, 2013), οι οποίες παρόλα αυτά εξακολουθούν να θεωρούνται κακής ποιότητας (Escanés and Poó, 2018). Ως εκ τούτου, οι υποδομές, ιδίως στις μητροπολιτικές περιοχές, αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις που επεκτείνονται σε όλα τα μεταφορικά μέσα και απαιτούν ενίσχυση των θαλάσσιων και λιμενικών συστημάτων, καθώς και βελτίωση των σιδηροδρομικών και οδικών δικτύων (Roccatagliata and Keeling, 2011).

Πριν από το 1990, ο ενεργειακός τομέας της χώρας χαρακτηριζόταν από ισχυρή παρουσία δημόσιων φορέων, με την κυβέρνηση και βασικούς θεσμικούς παράγοντες όπως το υπουργείο Ενέργειας και Εξόρυξης (Waterworth and Bradshaw, 2018) να υποστηρίζουν το φυσικό αέριο από το 1956 (Collantes and Melaina, 2011). Ένα χρόνο αργότερα ιδρύθηκε η Argentinian Institute of Oil & Gas (IAPG) για να εκπροσωπεί τα συμφέροντα και να υποστηρίζει τις δραστηριότητες των εταιρειών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, το φυσικό αέριο προωθήθηκε περαιτέρω με την κυβέρνηση να δίνει κίνητρα για τη μετατροπή του στόλου

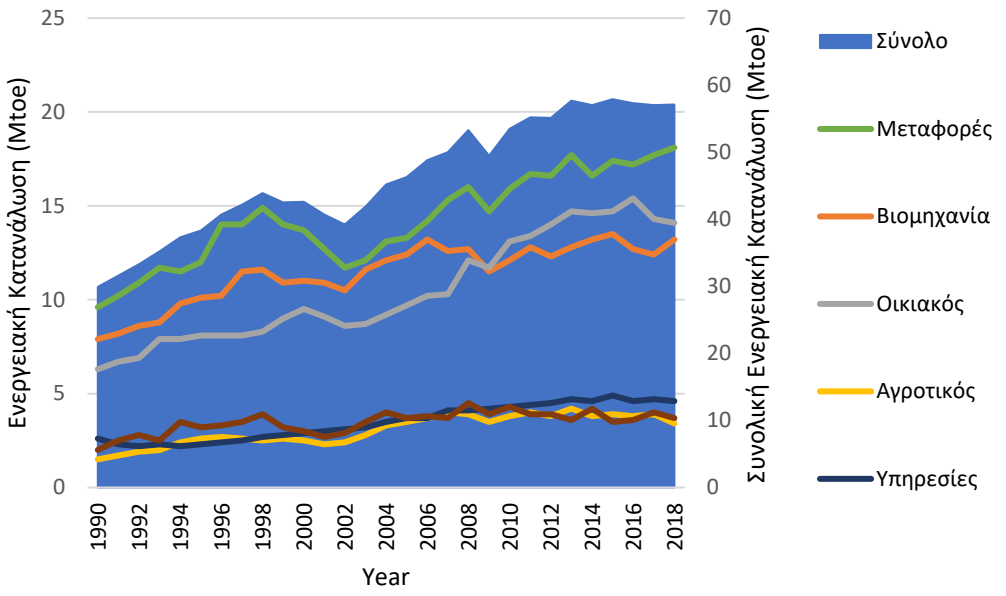
αυτοκινήτων σε αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural gas – CNG) (Vassallo, 2018). Αυτό πυροδότησε τη βιομηχανική και περιφερειακή ανάπτυξη, καθώς κυρίαρχος φορέας στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου ήταν η δημόσια εταιρία Yacimientos Petroliferos Fiscales (YPF), που διανέμει φυσικό αέριο σε πολλές αναπτυσσόμενες αγορές της χώρας, μέσω της επίσης δημόσιας εταιρίας Gas de Estado (GdE). Τα οικονομικά προβλήματα οδήγησαν στην ιδιωτικοποίηση και των δύο εταιρειών, με το κράτος να πωλεί το 31% της YPF σε τοπικές και διεθνείς αγορές (Minor, 1994). Αυτή η κίνηση αποτέλεσε μέρος ευρύτερων αλλαγών και προσπαθειών για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας, αλλάζοντας τελικά την κατάσταση του καθεστώτος μέσω ιδιωτικοποιήσεων δημόσιων επιχειρήσεων και υποδομών (Honoré, 2004), αλλά και ρυθμιστικών πρωτοβουλιών για την αύξηση της μικροοικονομικής αποδοτικότητας, που επιτεύχθηκε κυρίως με τη θέσπιση του νόμου 23.696 για την κρατική αναδιαμόρφωση και των επόμενων διαταγμάτων το 1989 (Lipovich, 2008).

Μολονότι οι δραστηριότητες αυτές αλλοίωσαν τη διάρθρωση της αγοράς, η κατανάλωση ενέργειας εξακολούθησε να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα πετρελαϊκά προϊόντα (Εικόνα 6.5). Ωστόσο, μια βασική διαφορά μεταξύ του καθεστώτος της Βραζιλίας και της Αργεντινής είναι ότι, στην τελευταία, το φυσικό αέριο είναι επίσης ένα εξέχον καύσιμο, ακολουθώντας σταθερά το πετρέλαιο στην τελική κατανάλωση, ειδικά μετά το 2000. Αυτό έχει προκαλέσει την κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων στο καθεστώς της Αργεντινής, με τα προϊόντα πετρελαίου και φυσικού αερίου να αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 75% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (IEA, 2018). Η συνολική ζήτηση αυξάνεται σταθερά, έχοντας διπλασιαστεί το 2018 σε σύγκριση με το 1990.

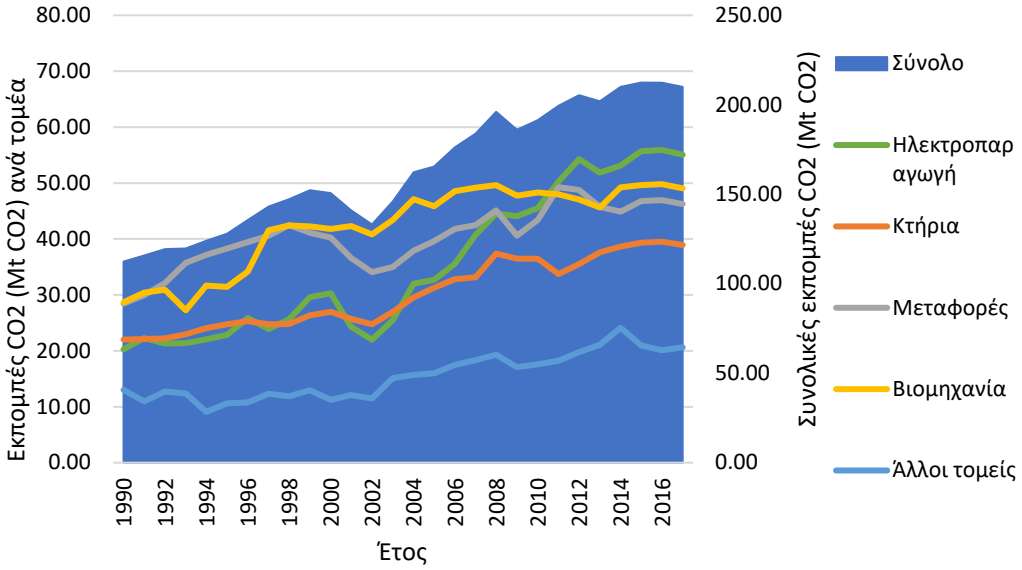


Εικόνα 6.5. Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Αργεντινή 1990-2018

Σε αντίθεση με τη Βραζιλία, στην Αργεντινή η κατανάλωση ενέργειας κατανέμεται πιο ομοιόμορφα μεταξύ των μεταφορών, της βιομηχανίας και του οικιακού τομέα, με τις μεταφορές να παραμένουν ο κυρίαρχος τομέας (Εικόνα 6.6). Συγκεκριμένα το 2018, οι μεταφορές κατανάλωσαν 18.1 Mtoe ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 32% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Το μερίδιο αυτό είναι σχεδόν σταθερό από το 1990, με μικρές διακυμάνσεις, δεδομένου ότι η κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές ακολουθεί με παραπλήσια αυξητικά μοτίβα τη συνολική κατανάλωση. Προσωρινές διαταραχές στην αύξηση παρατηρούνται λόγω των πολλαπλών χρηματοπιστωτικών κρίσεων με τις οποίες ήρθε αντιμέτωπη η οικονομία της Αργεντινής, και οι οποίες επηρέασαν εξίσου τη συνολική ζήτηση και τη ζήτηση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Αυτές οι διαδοχικές κρίσεις, με αφετηρία το 1998 (στην μετά του 1990 περίοδο), προκάλεσαν τεράστια μείωση η οποία, ακολουθούμενη από τις κρίσεις του 2009 και του 2013-2014, δεν επέτρεψε ποτέ την πλήρη ανάκαμψη της κατανάλωσης ενέργειας, παραμένοντας σταθερή την τελευταία δεκαετία, γύρω από τα 60 Mtoe.



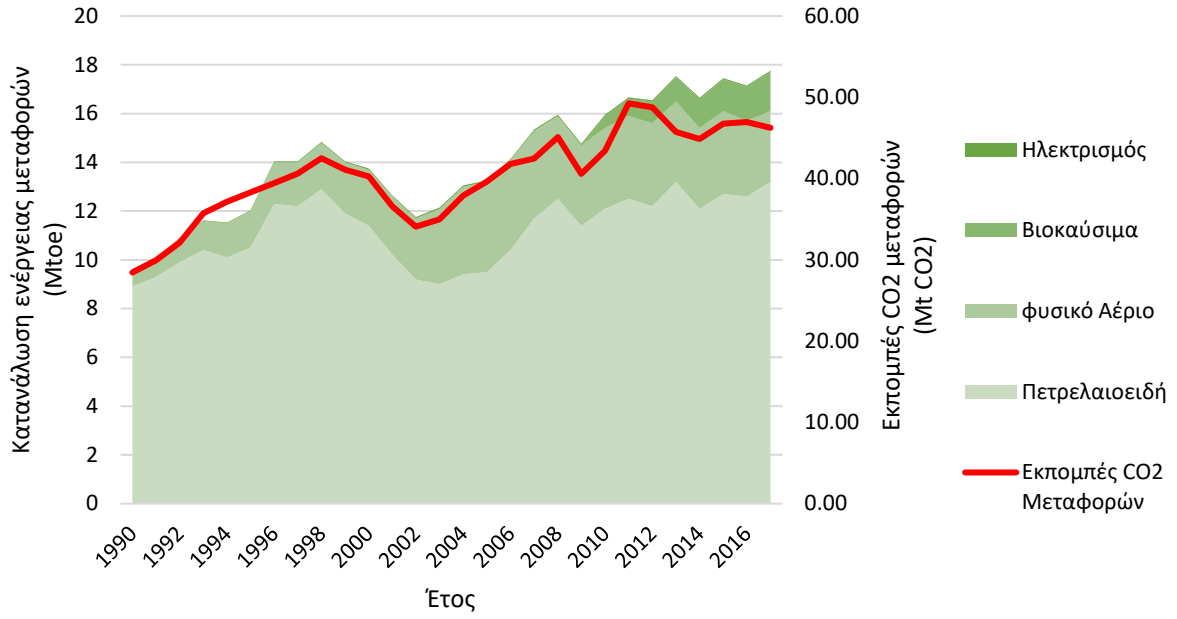
α)



β)

Εικόνα 6.6. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα α) και εκπομπές CO2 ανά τομέα β) στην Αργεντινή. Στο σχήμα 6α ο πρωτεύων άξονας αναφέρεται στις καταναλώσεις ενέργειας ανά τομέα (έγχρωμες γραμμές) και ο δευτερεύων άξονας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας (μπλε περιοχή). Στο σχήμα 6β ο πρωτεύων άξονας αναφέρεται στις εκπομπές CO2 ανά τομέα (έγχρωμες γραμμές) και ο δευτερεύων άξονας στις συνολικές εκπομπές CO2 (μπλε περιοχή)

Όπως και η κατανάλωση ενέργειας, έτσι και η κατανομή των εκπομπών CO2 παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία μεταξύ των τομέων (σε σχέση με τη Βραζιλία), με τις μεταφορές να αντιπροσωπεύουν το 22% των συνολικών εκπομπών το 2017, παρά το γεγονός ότι δεν είναι ο τομέας με το υψηλότερο μερίδιο εκπομπών, λόγω της ταχείας αύξησης—ιδίως από το 2002 και έπειτα—των εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στη Βραζιλία, τονίστηκε ότι η κυριαρχία των μεταφορών στις εκπομπές CO2 ήταν ακόμη πιο επιβλητική από ό,τι στην κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, οι μεταφορές της Αργεντινής παρουσιάζουν χαμηλότερη ένταση εκπομπών λόγω της μακροχρόνιας χρήσης φυσικού αερίου στην κινητικότητα, το οποίο είναι πιο αποδοτικό από άλλα ορυκτά καύσιμα (Chong et al., 2016). Ως εκ τούτου, παρόλο που οι εκπομπές από τις μεταφορές έχουν αυξηθεί από το 1990, η τάση αυτή ήταν μικρότερη σε σύγκριση με τις μεταβολές των συνολικών εκπομπών. Ωστόσο, δεδομένου ότι το φυσικό αέριο περιγράφεται συνήθως ως βραχυπρόθεσμο μεταβατικό καύσιμο (Hekkert et al., 2005; Safari et al., 2019), η μεγάλη εξάρτηση μπορεί να εγκλωβίσει το σύστημα σε οδούς που δεν μπορούν να επιτύχουν την πλήρη απανθρακοποίηση μακροπρόθεσμα (Nikas et al., 2020).



Εικόνα 6.7. Εκπομπές CO2 από τις μεταφορές σε σύγκριση με την κατανάλωση ενέργειας από τα καύσιμα στις μεταφορές στην Αργεντινή. Ο κύριος άξονας αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας (πράσινες περιοχές) και ο δευτερεύων άξονας στις εκπομπές (κόκκινη γραμμή)

Αυτό επισημαίνεται στην Εικόνα 6.7, όπου οι εκπομπές CO2 από τις μεταφορές φαίνεται ότι παρουσιάζουν συσχέτιση με το ενεργειακό μείγμα του τομέα. Προφανώς, το καθεστώς που

κυριαρχείται από τα ορυκτά καύσιμα, με κινητήρες εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν είτε πετρελαϊκά προϊόντα (ντίζελ, βενζίνη) είτε φυσικό αέριο, έχει δημιουργήσει ένα τεχνολογικό κλείδωμα που είναι δύσκολο να διασπαστεί (Åhman and Nilsson, 2008). Η βασική πρόοδος στον μετριασμό των εκπομπών CO2 παρατηρείται κατά την τελευταία δεκαετία μετά την προώθηση των βιοκαυσίμων το 2010, οπότε και άρχισαν να διεισδύουν στο ενεργειακό μείγμα ως μέρος της ώθησης που επιχειρήθηκε με το νόμο 26,093 (2006) με στόχο την αύξηση της εγχώριας ζήτησης βιοντίζελ έως το 2010 (Mathews and Goldsztein, 2009). Την ίδια χρονιά, ο νόμος 26.190 προώθησε την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Bragagnolo et al., 2014), ενώ ο νόμος 26.197 (2007) ενίσχυσε την εξουσία των κεντρικών και τοπικών κυβερνήσεων στη διαχείριση των υδρογονανθράκων, φανερώνοντας μια στροφή της εθνικής πολιτικής προς την αειφορία. Αυτές οι νομοθετικές προσπάθειες ήταν κρίσιμες δεδομένου ότι, μέχρι τότε, παρά τη σημαντική παραγωγή βιοκαυσίμων, η Αργεντινή βάσισε την οικονομία της στις εξαγωγές, περιορίζοντας την ιδιοκατανάλωση (Sadorsky, 2012), με αποτέλεσμα την περιορισμένη πρόοδο σε επίπεδο μετριασμού. Πρόσφατες προσπάθειες αποτυπώνονται στην επέκταση του νόμου 26.093 για τον καθορισμό υψηλότερων μειγμάτων που αγγίζουν το 10% για το βιοντίζελ εντός του μείγματος ντίζελ και 12% αιθανόλης εντός του μείγματος βενζίνης από το 2016 (Das, 2020).

Ευρύτερο Περιβάλλον

Η οικονομία της Αργεντινής γνώρισε μεγάλη απόκλιση από την αναμενόμενη ροή κεφαλαίων μεταξύ πλούσιων και λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών (Reinhart and Rogoff, 2004), αποτελώντας μια σπάνια εξαίρεση. Αυτό το παράδοξο μπορεί να εντοπιστεί στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα, όταν η Αργεντινή ήταν μία από τις πλουσιότερες χώρες μέχρι τη Μεγάλη Ύφεση το 1929 (Taylor, 2018), μετά την οποία είδε την ανάπτυξή της προηγούμενης περιόδου να σταματά χωρίς να καταφέρει να ανακάμψει πλήρως στη συνέχεια (Rocchi, 2005) (και άρα αντεστραμμένη ροή κεφαλαίου που οδήγησε στην αλλαγή του χαρακτηρισμού της από πλούσια σε αναπτυσσομένη χώρα). Η κρίση οδήγησε την Αργεντινή σε πολιτικές υποκατάστασης των εισαγωγών ακολουθώντας πορείες που συνήθως έχουν την ικανότητα να αναπαράγονται, και που δημιούργησαν αναπτυξιακούς περιορισμούς μέχρι την απελευθέρωση της αγοράς το 1976 και την αναμενόμενη αστάθεια στη συνέχεια λόγω της απώλειας κυβερνητικής στήριξης (Teitel and Thoumi, 1986; De Pablo, 1977; Richaud et al., 2000). Ως αποτέλεσμα, από το 1975 έως το 1990, η Αργεντινή αντιμετώπισε μεγάλη ύφεση με τη μορφή διεθνούς χρέους και, κατά συνέπεια, υψηλά επιτόκια που άλλαξαν τη δομή της απασχόλησης, μετατοπίζοντας το εργατικό

δυναμικό από τη βιομηχανία και τη γεωργία στις υπηρεσίες (Hopenhayn and Neumeyer, 2005), ενώ κατέστησαν αναγκαίες προς το τέλος αυτής της περιόδου συστημικές αλλαγές με τη μορφή ιδιωτικοποιήσεων, όπως παρατηρήθηκε στο καθεστώς.

Μετά από αυτή την κρίση, το φυσικό αέριο άρχισε να κερδίζει έδαφος στις μεταφορές (Εικόνα 6.7) λόγω των επιδοτήσεων στα CNG αυτοκίνητα. Παράλληλα με την αύξηση της χρήσης φυσικού αερίου, η οικονομία της χώρας διένυσε μια περίοδο ευημερίας από το 1990 έως το 1998, κυρίως λόγω των ξένων επενδύσεων που προηγουμένως απουσίαζαν, της σύνδεσης του εθνικού νομίσματος (πέσο Αργεντινής) με το δολάριο, και των σημαντικών εξαγωγών (Kehoe, 2003). Η εξάρτηση από ξένες δυνάμεις, ωστόσο, έκανε τη χώρα ευάλωτη όταν αυτές οι ροές κεφαλαίων σταμάτησαν ξαφνικά, λόγω εξωγενών παραμέτρων όπως η ρωσική κρίση (1998) (Calvo et al., 2003), η οποία προστέθηκε σε προηγούμενες εξωτερικές διαταραχές όπως η κρίση της Τεκίλας του Μεξικού (1994) (Boschi, 2005). Το αποτέλεσμα ήταν άλλη μια βαθιά ύφεση που επηρέασε το χρέος, τις τράπεζες και τις εξαγωγές γεωργικών προϊόντων, ειδικά προς τη Βραζιλία. Παρά τις διαμάχες γύρω από την ύφεση, και ανεξάρτητα από το αν η υπερτίμηση του πέσο ή οι αδύναμες δημοσιονομικές πολιτικές ήταν οι κύριοι παράγοντες της κρίσης (Bleaney, 2004), στις μεταφορές ένας βασικός ωφελημένος από την κατάσταση ήταν το φυσικό αέριο. Λόγω των μεταγενέστερων υποτιμήσεων, οι τιμές του φυσικού αερίου ήταν ευνοϊκές, οδηγώντας σε αύξηση της ζήτησης την περίοδο 2002-2003 (Collantes and Melaina, 2011), με ποσοστό σχεδόν 44% μεταξύ των δύο ετών, και σημαντικά υψηλότερο από τις τάσεις των προηγούμενων δεκαετιών (Εικόνα 6.7). Αυτές οι διαδοχικές κρίσεις παρείχαν το παράθυρο ευκαιρίας για να εγκατασταθεί το φυσικό αέριο ως βασικός παράγοντας στο καθεστώς μεταφορών, εκμεταλλευόμενο μια αντίστοιχη ευκαιρία όπως αυτή που οδήγησε στην αύξηση της χρήσης αιθανόλης στη Βραζιλία. Ωστόσο, δεδομένου ότι τέτοια παράθυρα παρέχουν απλώς τις ρωγμές στο καθεστώς για την είσοδο διαφορετικών niches, παρατηρούμε ότι το μονοπάτι που ακολούθησαν οι δύο χώρες διαμορφώθηκε μέσω πρωτοβουλιών πολιτικής υποστήριξης στα πρώτα στάδια των δύο τεχνολογιών: μια πιο βιώσιμη επιλογή για τη Βραζιλία, σε αντίθεση με μια λύση βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα στην Αργεντινή. Η διαφορά επισημαίνεται περαιτέρω στην πορεία αναδιαμόρφωσης (Geels et al., 2007; Geels et al., 2016) που ακολούθησε η Αργεντινή, σε σύγκριση με τον συνδυασμό μονοπατιών στην περίπτωση της Βραζιλίας. Τα αυτοκίνητα CNG, που κατανάλωναν ορυκτά καύσιμα, υιοθετήθηκαν εύκολα στο καθεστώς σε ένα συμβιωτικό περιβάλλον. Η λύση αυτή πυροδότησε περαιτέρω προσαρμογές, με το φυσικό αέριο να αναδεικνύεται σε βασικό μέρος του καθεστώτος. Ωστόσο, αυτές οι προσαρμογές δεν

απαιτούν σημαντικές διαταραχές στο σύστημα αποφεύγοντας έτσι να δημιουργήσουν βαθύτερες αρχιτεκτονικές αλλαγές προς τη βιωσιμότητα, όπως συνέβη με το πιο ριζοσπαστικό μονοπάτι της Βραζιλίας. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της ευαισθητοποίησης των φορέων και των θεσμικών οργάνων για την καινοτομία ακόμη και στα πρώτα στάδια της διάδοσης της (Larsen, 2011).

Μετά το 2003, η κυβέρνηση προσπάθησε να προωθήσει τις εξαγωγές, συμπεριλαμβανομένης της σόγιας που από το 1970 εκμεταλλεύτηκε την ανύπαρκτη εγχώρια αγορά και άρχισε να κερδίζει έδαφος έναντι του βόειου κρέατος και του σιταριού, των κύριων εξαγόμενων προϊόντων (Richardson, 2009). Αυτή η αύξηση των εξαγωγών υπέστη σοβαρό πλήγμα το 2012 με την απόφαση της κυβέρνησης να εθνικοποιήσει την YPF, δημιουργώντας έτσι σημαντικές εντάσεις με τις παραδοσιακές αγορές βιοντίζελ, όπως η ΕΕ (κυρίως η Ισπανία) και το Μεξικό, που ήταν επίσης μέτοχοι—μέχρι το 2010, η Ισπανία αντιπροσώπευε το 53% των εξαγωγών της χώρας και ήταν βασικός επενδυτής στην YPF (Moreno et al., 2013). Η ισπανική κυβέρνηση χαρακτήρισε την απόφαση αυτή παράλογη και άδικη, δηλώνοντας ότι θα μπορούσε να οδηγήσει σε διπλωματικές συγκρούσεις υπό τον φόβο περαιτέρω εθνικοποιήσεων, ενώ η Repsol, της οποίας τα συμφέροντα είχαν πληγεί κυρίως, απείλησε να δράσει εναντίον της YPF και των μελλοντικών συμμάχων της (Moreno et al., 2013; Costamagna et al., 2015). Μετά από αυτή τη σύγκρουση που οδήγησε σε δασμούς από την ΕΕ, η Αργεντινή έπρεπε να προσαρμόσει τη στρατηγική της, από τη μια διατηρώντας τον διεθνή προσανατολισμό της μέσω νέων αγορών όπως η Βόρεια Αφρική, αλλά και εστιάζοντας στην ιδιοκατανάλωση (Naylor and Higgins, 2017). Αυτά τα πρόσφατα εμπόδια που προκύπτουν από παράγοντες του ευρύτερου περιβάλλοντος αναμένεται να διαμορφώσουν τη μελλοντική πορεία της Αργεντινής όσον αφορά τα βιοκαύσιμα ως μέσο βιώσιμης μετάβασης.

6.5 Η ανάπτυξη του TIS βιοκαυσίμων και στις δύο χώρες

Η χρήση του βιοντίζελ ως πιο πράσινου καυσίμου έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή τα τελευταία χρόνια παρόλο που η κεντρική ιδέα εντοπίζεται αρκετά χρόνια παλιότερα, με προσπάθειες για τη δημιουργία μιας εναλλακτικής λύσης στον αρχικό πετρελαιοκινητήρα να έχουν ένα μακρύ και δύσκολο ιστορικό παρελθόν. Ήδη από το 1900, έχουμε την πρώτη απόπειρα με τον Rudolph Diesel να προσπαθεί να λειτουργήσει έναν αρχικό κινητήρα ντίζελ με φυτικό έλαιο (Bozbas, 2008). Ωστόσο, ο όρος "βιοντίζελ" δεν επινοήθηκε επίσημα μέχρι το 1988, παρόλο που το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τα καύσιμα χρονολογείται από το 1937 (Aytav and Kocar, 2013). Στη

συνέχεια, λόγω της υψηλής βιοδιάσπασης του, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα, το βιοντίζελ θεωρείται μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση με πολλαπλά πολιτικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά, γεωργικά οφέλη, παρουσιάζοντας πρόσθετα πλεονεκτήματα για την υγεία και την ασφάλεια (Milazzo et al., 2013).

Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας για φυτικά έλαια αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, αλλά κυρίως για χρήση σε τρόφιμα και όχι σε βιομηχανικές δραστηριότητες και δραστηριότητες βιοκαυσίμων (Rosillo-Calle et al., 2009). Το γεγονός ότι η παραγωγή σογιέλαιου στη Βραζιλία και την Αργεντινή αυξάνεται ταχύτερα από τη ζήτηση τροφίμων σημαίνει ότι η παραγωγή είναι περισσότερο από ικανή να καλύψει την εγχώρια ζήτηση. Επιπλέον, η χρήση εφαρμογών γενετικά τροποποιημένων οργανισμών παρουσιάζει σημαντικά καλύτερα ποσοστά αποδοχής στη Λατινική Αμερική από ό,τι για παράδειγμα στην Ευρώπη, προωθώντας περαιτέρω την παραγωγή σόγιας (Castanheira et al., 2014), η οποία, ειδικά στη Βραζιλία και την Αργεντινή, έχει λάβει ως εκ τούτου μεγάλη κοινωνική αποδοχή, αποφεύγοντας τη διαμάχη για τα βιοκαύσιμα που υποδηλώνει ότι η επέκτασή τους θα μπορούσε να μειώσει τη διαθεσιμότητα τροφίμων και να αυξήσει τις τιμές των τροφίμων, επηρεάζοντας αρνητικά την επισιτιστική ασφάλεια (Negash and Swinnen, 2013). Ωστόσο, η πρόσφατη επέκταση της αγοράς βιοκαυσίμων παρουσιάζει πρόσθετες προκλήσεις όσον αφορά την αντιμετώπιση, μέσω κατάλληλων πρωτοβουλιών πολιτικής, αρνητικών επιπτώσεων όπως η αποψίλωση των δασών, η οποία από το 2013 αυξάνεται και πάλι στη Βραζιλία (Wolrd Bank Group, 2017), και η επισιτιστική ασφάλεια χωρίς να επιβαρύνονται οι παραγωγοί (Janssen and Rutz, 2011), ιδίως λαμβάνοντας υπόψη ότι η γεωργία της Βραζιλίας τρέφει περίπου 800 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως (Embrapa, 2021), δεδομένου ότι η αύξηση της αγοράς βιοκαυσίμων δεν είναι δεδομένο ότι θα διατηρήσει την ισορροπία ανάμεσα στις αγορές τροφίμων και βιοκαυσίμων.

Επιχειρηματικές Δραστηριότητες και Δημιουργία Αγοράς

Οι ευνοϊκές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή επέτρεψαν στη Βραζιλία και την Αργεντινή να είναι μεταξύ των μεγαλύτερων παραγωγών βιοντίζελ σόγιας παγκοσμίως. Παρά την κοινή τους κυριαρχία, οι δύο χώρες έχουν σημαντικές διαφορές στη δομή της αγοράς τους, κυρίως λόγω των διαφορετικών διαμορφώσεων της πολυ-επίπεδης μετάβασης του τομέα μεταφορών όπως αποτυπώθηκε στα MLP των δύο χωρών. Συγκεκριμένα, κεντρική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι στην Αργεντινή οι δραστηριότητες επικεντρώνονται στις εξαγωγές, έναντι της εγχώριας κατανάλωσης που κυριαρχεί στην Βραζιλία. Οι διαφορές αυτές είναι επίσης παρούσες στις

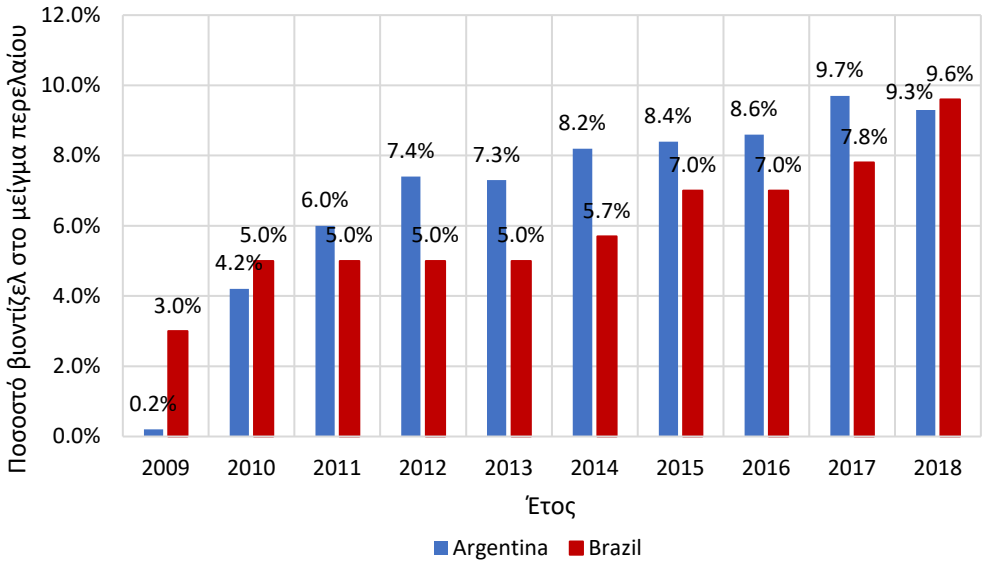
επιχειρηματικές δραστηριότητες στους δύο τομείς (Λειτουργία 1). Στην Αργεντινή, τρεις εγχώριες (Aceitera General Deheza, Molinos Rio de la Plata, Vicentín) και τρεις παγκόσμιες εταιρείες (Bunge, Cargill, Dreyfus) ελέγχουν το 87% των δραστηριοτήτων του τομέα, αντανακλώντας την αργή απελευθέρωση που περιγράφεται στο ευρύτερο περιβάλλον της χώρας. Οι μηχανισμοί φορολόγησης των εξαγωγών και οι διαφορές στη φορολογία, αν και δεν επηρεάζουν τους μικρούς αγρότες, παρείχαν μεγάλο κίνητρο στις μεγαλύτερες εταιρείες να παράγουν και να εξάγουν (Tomei and Upham, 2009). Αυτό διαμόρφωσε μια ανελαστική αγορά βιοντίζελ, καθιστώντας δύσκολη τη δημιουργία σταθερής εγχώριας ζήτησης και προώθησε περαιτέρω τις εξαγωγές, πυροδοτώντας την πορεία με εξαγωγικό προσανατολισμό. Σε αυτό το περιβάλλον, πολλές από αυτές τις εταιρείες προχώρησαν σε συγχωνεύσεις και κοινοπραξίες για να αυξήσουν τα μερίδια αγοράς τους (Leguizamón, 2016).

Αντίθετα, ο τομέας της Βραζιλίας παρουσιάζει μεγαλύτερη ποικιλομορφία με τουλάχιστον δέκα εταιρείες και μικρότερους παραγωγούς να δραστηριοποιούνται (Wilkinson and Herrera, 2010), και οι οποίες με τη σειρά τους συμβάλλουν στο να διαφοροποιούν μείγματα πρώτων υλών, όπως το καστορέλαιο και το φοινικέλαιο. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής το 2008, συμπεριλαμβανομένων των μικρότερων παραγωγών, βασίστηκε στη σόγια (78%) και στα ζωικά λίπη (18%), ως μέρος του PNPB. Το 96% των πρώτων υλών που προέρχονται από τις δύο μεγαλύτερες γεωργικές δραστηριότητες της χώρας δείχνει την αποτυχία του PNPB να διαφοροποιήσει την καλλιέργεια άλλων ελαίων, η οποία ήταν βασικός στόχος του προγράμματος (Padula et al., 2012). Στις μικρότερες αγροτικές οικογενειακές επιχειρήσεις επιτρεπόταν να συμμετέχουν στην αγορά (Λειτουργία 5) μέσω δημοπρασιών στο πλαίσιο του ANP και του προγράμματος της Σφραγίδας, ενός πιστοποιητικού που έδινε στους εν λόγω παραγωγούς προτεραιότητα πώλησης (De Oliveira et al., 2019). Έχοντας ήδη επισημανθεί ως κυρίαρχος παίκτης στο καθεστώς της χώρας, η Petrobras ήταν ο κύριος αγοραστής αυτών των δημοπρασιών, και λειτουργούσε ως βασικός διανομέας βιοντίζελ, ενισχύοντας περαιτέρω τη θέση της εταιρείας, και εγείροντας ερωτήματα σχετικά με το κατά πόσον το πρόγραμμα μπορεί να προσφέρει στις αγροτικές οικογενειακές επιχειρήσεις ένα βιώσιμο ρόλο στην αγορά παρά κάποια μεμονωμένα περιφερειακά θετικά αποτελέσματα (Marcossi et al., 2018). Στην πραγματικότητα, το PNPB πέτυχε μόνο εν μέρει τον στόχο της για ευρύτερη κοινωνική ένταξη, δημιουργώντας λιγότερες θέσεις εργασίας από ό,τι αναμενόταν, ιδίως στον Βορρά και τα Βορειοανατολικά λόγω περιορισμών στην εξασφάλιση σταθερής προσφοράς εισροών (Rathmann et al., 2012). Η έλλειψη ποικιλομορφίας των πρώτων υλών σε συνδυασμό με την

απομάκρυνση των οικογενειακών αγροτών στην παραγωγή δημιουργούν πρόσθετες προκλήσεις για το μέλλον. Μέχρι πρόσφατα, μόνο η σόγια είχε τη δυνατότητα να αυξήσει την παραγωγή σε σημείο τέτοιο που να μπορεί να καλύψει τη ζήτηση και να αποφέρει ταυτόχρονα κέρδη, ενώ άλλες πρώτες ύλες όπως το φοινικέλαιο παρέμειναν λιγότερο βιώσιμες. Μέχρι στιγμής η αύξηση αυτή δεν επηρέασε την επισιτιστική ασφάλεια, δεδομένου ότι η αναλογία μεταξύ των τιμών της σόγιας και του σογιάλευρου παρέμεινε σταθερή, με το βιοντίζελ να καταναλώνει μόνο περισσεύματα από την αγορά (Rathmann et al., 2012; Nogueira et al., 2016). Ωστόσο, η αύξηση της ζήτησης μπορεί να αντιστρέψει αυτή την κατάσταση, αμφισβητώντας τη διαθεσιμότητα ελαιούχων σπόρων χωρίς να κινδυνεύει η επισιτιστική ασφάλεια σε έναν τομέα που κυριαρχείται από σόγια. Πρόσφατα αναφέρθηκε (Fick and Jackson, 2021) ότι οι ανησυχίες σχετικά με την ικανότητα κάλυψης της ζήτησης ανάγκασαν την ANP να διατηρήσει τη συμμετοχή βιοντίζελ στο μείγμα στο τρέχον επίπεδο του 10% (Εικόνα 6.8) αντί του 12% που είχε δεσμευθεί. Συνήθως, μελέτες που δείχνουν σημαντική μείωση των εκπομπών από βιοκαύσιμα αναφέρονται σε μείγματα με υψηλή συγκέντρωση (π.χ. B100), με τα θετικά αποτελέσματα να περιορίζονται σε χαμηλότερα ποσοστά (Rathmann et al., 2012). Αντιστρόφως, οι πρόσφατες δραστηριότητες μοντελοποίησης δείχνουν ότι η απανθρακοποίηση του τομέα των εμπορευματικών μεταφορών θα πρέπει να επικεντρωθεί στα προηγμένα βιοκαύσιμα με ή χωρίς δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα (Köberle et al., 2020). Λαμβάνοντας υπόψη τις ανησυχίες που εκφράζονται σε αυτή τη μελέτη, η συνέχιση της πιο βιώσιμης πορείας που προσδιορίστηκε, απαιτεί προσπάθειες για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών ελαίων—ιδίως αυτών δεύτερης γενιάς—αντί να εξαρτάται από τη σόγια για την εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής, έτσι ώστε η αύξηση της παραγωγής να μην απειλεί την πρόκληση επισιτιστικής ασφάλειας. Η μερική αποτυχία του PNPB μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών σχετικά με το RenovaBio, την πιο πρόσφατη πρωτοβουλία για τα βιοκαύσιμα (Υποκεφάλαιο 6.3.1), για την αποτελεσματική διαφοροποίηση των πρώτων υλών, συμπεριλαμβάνοντας επίσης μικρότερους παραγωγούς πέρα από τα κεντρικά δίκτυα της Petrobras, τα οποία είναι καίριας σημασίας για τη μετάβαση από τα βιοκαύσιμα πρώτης στη δεύτερης γενιάς.

Παρά τις διαφορές, οι προσεγγίσεις και των δύο χωρών επέτρεψαν την αύξηση των μεριδίων βιοντίζελ στο ενεργειακό μείγμα, μέσω νομοθετικών προσπαθειών (Εικόνα 6.8). Στη Βραζιλία, οδηγός αυτής της προσπάθειας ήταν η υποστήριξη για την δημιουργία ενός πιο ποικιλόμορφου τομέα, ενώ στην Αργεντινή, κοινοπραξίες δημιούργησαν ανθεκτικότητα στις μεταβολές των

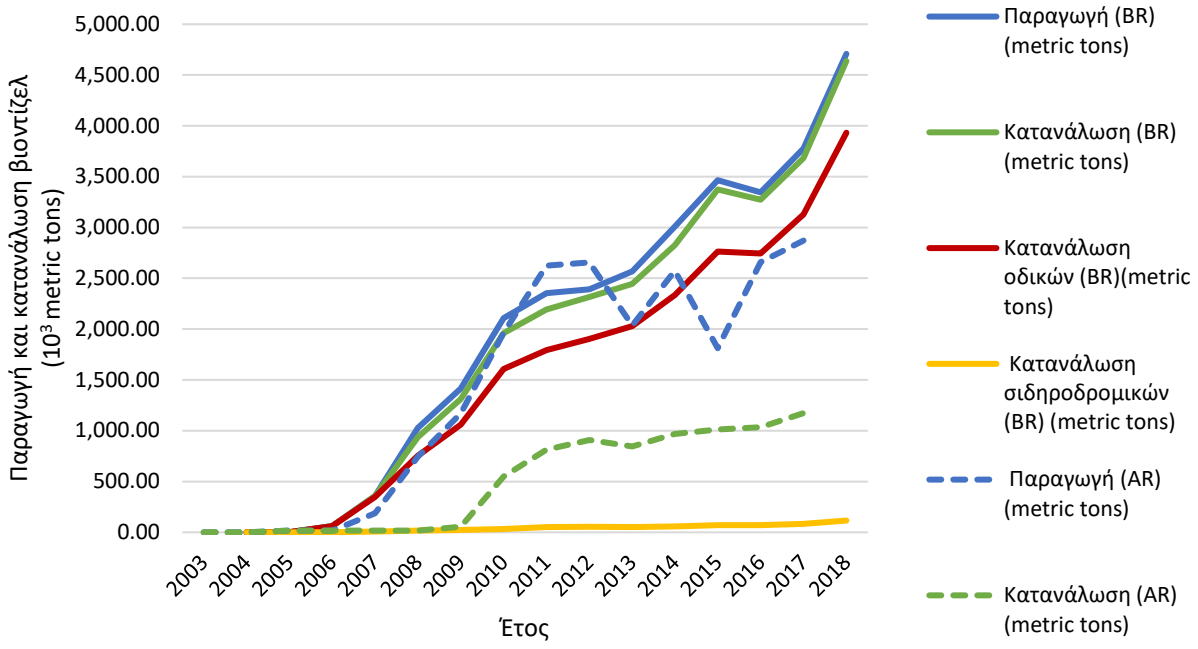
τιμών, επιτρέποντας την καλύτερη προσαρμογή των εταιρειών στην αγορά (Timilsina et al., 2013). Μετά τη θέσπιση στόχων για ποσόστωση βιοκαυσίμων στο μείγμα, το μερίδιο αυξήθηκε δραστικά το 2009 για τη Βραζιλία και το 2010 για την Αργεντινή, διατηρώντας σταθερά αυτόν τον ρυθμό ανάπτυξης και στις δύο χώρες μέχρι το 2018, φθάνοντας σχεδόν το 10% (με την Αργεντινή μάλιστα να συγκλίνει ταχύτερα). Αυτός ήταν και ο τελικός στόχος που έθεσε η κυβέρνηση της Αργεντινής, ενώ η Βραζιλία εξακολουθεί να έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποσόστωση περαιτέρω εφόσον αρθούν οι περιορισμοί σχετικά με την προσπάθεια επίτευξης του στόχου για συμμετοχή στο μείγμα με 12%.



Εικόνα 6.8. Μερίδιο βιοντίζελ στο μείγμα ντίζελ της Αργεντινής και της Βραζιλίας την περίοδο 2009-2018

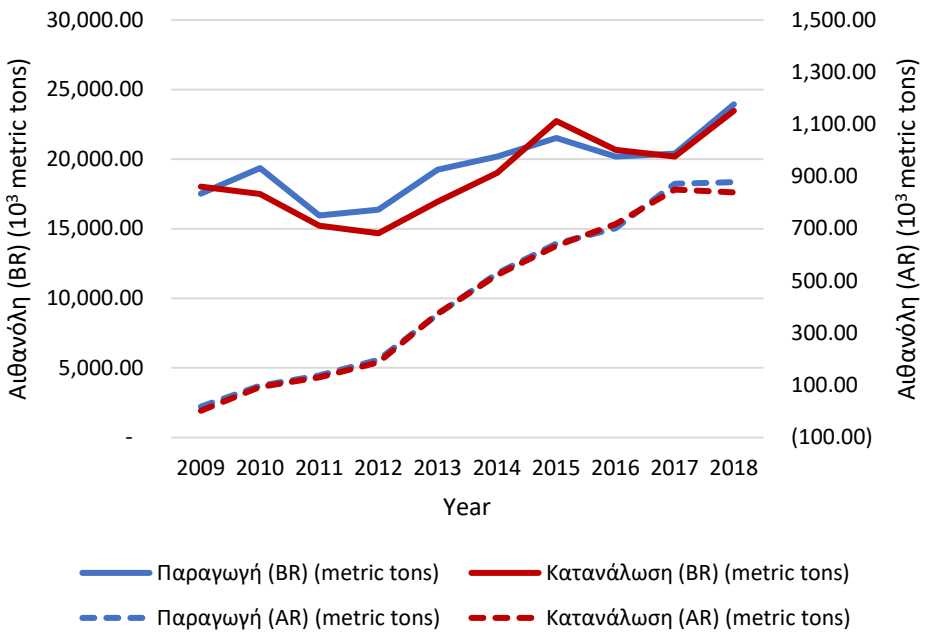
Η θέσπιση νομοθεσίας υπέρ των βιοκαυσίμων το 2006 είχε άμεσο αντίκτυπο στον όγκο παραγωγής των δύο χωρών αλλά και στην εγχώρια κατανάλωση (Εικόνα 6.9). Σε αυτή την πρόσφατη διαμόρφωση της αγοράς, παρατηρούνται τρεις βασικές διαφορές. Πρώτον, ενώ η αγορά της Βραζιλίας εξακολουθεί να αυξάνεται ραγδαία, η Αργεντινή από το 2010 εμφανίζει σταθεροποίηση με περιοδικές μειώσεις. Δεύτερον, ενώ στη Βραζιλία το παραγόμενο βιοντίζελ καταναλώνεται κυρίως στην εγχώρια αγορά, στην Αργεντινή οι εξαγωγές αποτελούν τον κυρίαρχο προορισμό. Τέλος, ο μόνος τομέας που καταναλώνει βιοντίζελ στην Αργεντινή είναι οι οδικές μεταφορές. Στη Βραζιλία, παρά το γεγονός ότι οι οδικές μεταφορές είναι η κυρίαρχη αγορά, παρατηρείται επίσης αύξηση των σιδηροδρομικών μεταφορών (USDA, 2021). Η διάχυση της καινοτομίας από τις οδικές μεταφορές, τον κύριο τομέα των μεταφορών σε διάφορους

υποτομείς είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του τομέα (Koasidis et al., 2020). Στη Βραζιλία, η μόνη περίπτωση μικρής πτώσης συνέβη το 2014 με την πολιτική και οικονομική κρίση που προέκυψε από τις άμεσες πιέσεις του ευρύτερου περιβάλλοντος. Ο αντίκτυπος αυτός ήταν ελάχιστος, με την αύξηση να είναι ακόμη πιο γρήγορη μετά την κρίση. Αντίθετα, στην Αργεντινή, μετά από μακρές περιόδους αστάθειας του ευρύτερου περιβάλλοντος, η σύγκρουση που σχετίζεται με την YPF και την Ισπανία και άλλους μεγάλους εισαγωγείς βιοντίζελ στους οποίους στηριζόταν παραδοσιακά η χώρα, δημιούργησε σημαντική αστάθεια στον όγκο παραγωγής, με τις προσπάθειες ανάκαμψης να εξακολουθούν να χαρακτηρίζονται από δυσκολίες. Αυτό δεν είχε σημαντική επίδραση στην εγχώρια αγορά, η οποία παρουσίασε μικρά σημάδια αύξησης. Σε συνδυασμό με τη μείωση της παραγωγής, αυτό αύξησε περιοδικά το μερίδιο της εγχώριας κατανάλωσης, ως απάντηση στους περιορισμούς των εξαγωγών. Ωστόσο, για να αποφευχθεί η ανάσχεση της μετάβασης αυτής που έχει εκκινήσει, η Αργεντινή φαίνεται να χρειάζεται μια συνεκτική στρατηγική σχετική με το βιοντίζελ με σαφή εστίαση στον μακροπρόθεσμο διεθνή προσανατολισμό (Naylor and Higgins, 2017) και την εγχώρια κατανάλωση. Η αναντιστοιχία μεταξύ μοτίβων παραγωγής και κατανάλωσης δείχνει και μια μακροπρόθεσμη τάση όσον αφορά την μετάβαση σε περιόδους κρίσης (κάτι που εν μέρη εντοπίστηκε και στην περίπτωση της Ελλάδας). Μια αλληλουχία γεγονότων που εκκίνησαν με την πετρελαϊκή κρίση το 1973 και συνοδεύτηκαν από πολλές άλλες διαταραχές, τη στήριξη του φυσικού αερίου ως καινοτομία στις οδικές μεταφορές, την ανάγκη τα βιοκαύσιμα να στραφούν προς τις εξαγωγές, και τους αντίστοιχους τριγμούς σε αυτή τη στρατηγική εξαγωγών με την κρίση του 2012 λόγω της YPF δείχνουν ότι αποφάσεις ως απάντηση σε κρίσεις μπορούν να έχουν μη προφανή αντίκτυπο δεκαετίες μετά την εμφάνιση τους και να διαμορφώσουν μονοπάτια από τα οποία δεν είναι εύκολο να απεγκλωβιστεί μια χώρα.



Εικόνα 6.9. Παραγωγή και κατανάλωση βιοντίζελ στη Βραζιλία και την Αργεντινή

Η διαμόρφωση της αγοράς εξαρτάται επίσης από τις αλλαγές σε άλλα εναλλακτικά καύσιμα. Σε αντίθεση με την Αργεντινή, ένα άλλο βασικό βιοκαύσιμο στη Βραζιλία ήταν η αιθανόλη με σημαντικές πολιτικές για την υποστήριξη της όπως το ProAlcool. Ένα βασικό πλεονέκτημα του βιοντίζελ είναι ότι δεν υπάρχει άμεσος ανταγωνισμός με την αιθανόλη, δεδομένου ότι η τελευταία λειτουργεί ως υποκατάστατο της βενζίνης (Υποκεφάλαιο 6.3.1). Αυτό επέτρεψε την επέκταση του TIS βιοντίζελ με βάση τη σωρευτική γνώση μέσω των διδαγμάτων που αντλήθηκαν από το ProAlcool, με τους όγκους παραγωγής στη Βραζιλία να τετραπλασιάζονται σχεδόν από το 2019. Ταυτόχρονα, η αιθανόλη παρουσίασε επίσης αύξηση 36% μεταξύ 2009 και 2018 (Εικόνα 6.10), κάτι που είναι αξιοσημείωτο λαμβάνοντας υπόψη ότι οι πρώτες πρωτοβουλίες αιθανόλης ξεκίνησαν το 1975 (ANP, 2020). Η αιθανόλη στην Αργεντινή αρχίζει επίσης να αυξάνεται, αν και οι μικρές ποσότητες που παράγονται δείχνουν απλώς μια τάση.



Εικόνα 6.10. Παραγωγή και κατανάλωση αιθανόλης στη Βραζιλία (πρωτεύων άξονας) και την Αργεντινή (δευτερεύων άξονας).

Με την επέκταση της διάχυσης του βιοντίζελ να είναι απαραίτητη, προκύπτει μια βασική ανησυχία από την ανάλυση των παραγόντων διαμόρφωσης της αγοράς μέχρι τώρα και τις επιρροές του MLP στο TIS. Οι λόγοι πίσω από την εισαγωγή αιθανόλης, όπως παρατηρήθηκε στο ευρύτερο περιβάλλον της Βραζιλίας, ήταν η υποκατάσταση των εισαγωγών πετρελαίου. Ομοίως, η παραγωγή βιοντίζελ φαίνεται να καθοδηγείται λιγότερο από περιβαλλοντικά οφέλη, και περισσότερο από πολιτικά και οικονομικά κίνητρα, λόγω πιέσεων από ενώσεις όπως η ABIOVE και ισχυρά λόμπι που δραστηριοποιούνται στον τομέα της σόγιας (Wilkinson and Herrera, 2010). Αυτό θα μπορούσε ενδεχομένως να λειτουργήσει ως φραγμός στην είσοδο βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, δεδομένου ότι, σε αντίθεση με τον μη ανταγωνιστικό χαρακτήρα μεταξύ των καινοτομιών αιθανόλης και βιοντίζελ, τα προηγμένα βιοκαύσιμα θα ασκήσουν πίεση στις υφιστάμενες δομές για τις τρέχουσες καινοτομίες βιοκαυσίμων που παρουσιάζουν ομοιότητες με το καθεστώς.

Ανάπτυξη Γνώσης, Διάχυση Γνώσης και Ερευνητική Καθοδήγηση

Στη Βραζιλία, η πρώτη επίσημη πολιτική υποστήριξης της αιθανόλης χρονολογείται το 1919 ακολουθούμενη από τη θέσπιση θεσμών και κανονισμών για την υποστήριξη της χρήσης της (Stattman et al., 2013). Την επόμενη περίοδο, πολλά ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια,

όπως τα Sugar and Alcohol Institute, National Institute of Technology, Oil Institute of Ministry of Agriculture, και Industrial Technology Institute of Minas Gerais, προσπάθησαν να προωθήσουν την έρευνα σχετικά με τη χρήση φυτικών ελαίων ώστε αυτά να συμπεριληφθούν δυνητικά στο ενεργειακό μείγμα (Λειτουργία 2). Η πετρελαϊκή κρίση δημιούργησαν σχετικές ευκαιρίες για καινοτομία και έρευνα σχετικά με τη χρήση φοινικέλαιου, μια πορεία που δεν ακολουθήθηκε περαιτέρω ύστερα από τη βελτίωση των τιμών του πετρελαίου μετά την κρίση (Bergmann et al., 2013). Το 1980, μαζί με το ProAlcool, υλοποιήθηκε επίσης ένα πρόγραμμα για την προώθηση φυτικών ελαίων, το ProOleo, για τη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές πετρελαίου αυξάνοντας την τοπική παραγωγή (Johnson and Silveira, 2014). Οι μειώσεις των τιμών έβλαψαν τη βιωσιμότητά του με αποτέλεσμα να αντικατασταθεί από το OVEG για τη δοκιμή διαφορετικών στόχων μειγμάτων (λειτουργία 4).

Αυτές οι πρώιμες ερευνητικές προσπάθειες στη Βραζιλία, ειδικά με την αιθανόλη στο υποσύστημα των επιβατικών οχημάτων, σε αντίθεση με την Αργεντινή που σημείωσε πρόοδο στον τομέα πολύ αργότερα, άνοιξαν πρόσφατα το δρόμο για τη διάχυση της καινοτομίας στις εμπορευματικές μεταφορές μέσω του βιοντίζελ, παρέχοντας την ευκαιρία να αξιοποιηθεί η σωρευτική γνώση (Λειτουργία 3), η οποία είναι μια σημαντική παράμετρος στη διάδοση της γνώσης (Malerba, 2005). Κατά την περίοδο 2005-2006, και οι δύο χώρες νομοθέτησαν για την επέκταση του βιοντίζελ, με το PNPB στη Βραζιλία και το Νόμο 26,093 στην Αργεντινή, και θέσπισαν εντολές για την αύξηση του μεριδίου του στο μείγμα. Ως αποτέλεσμα, και οι δύο χώρες θεωρούνται σήμερα πρωτοπόροι στα βιοκαύσιμα. Εν μέρει, αυτό αποδίδεται επίσης στη γεωργική έρευνα, με φορείς όπως η Βραζιλιάνικη Εταιρεία Γεωργικής Έρευνας (Embrapa), η οποία προώθησε την εκμετάλλευση λιγότερο χρησιμοποιούμενων περιοχών για ζώνες αγροτοβιομηχανικών έργων, ειδικά στην περιοχή Cerrado (Nehring, 2016). Τέτοιες προσπάθειες καθιέρωσαν την κυριαρχία του σογιέλαιου στη βάση γνώσεων των χωρών, λόγω της αφθονίας και των χαμηλών τιμών του, μειώνοντας στη συνέχεια το κόστος παραγωγής βιοντίζελ, το οποίο εξαρτάται κυρίως από τις πρώτες ύλες (Lamers et al., 2008). Αυτό ήταν ζωτικής σημασίας για την οικονομική βιωσιμότητα του βιοντίζελ: η μείωση του κόστους αποτελεί βασική πρόκληση και, σε συνδυασμό με το υψηλό έμμεσο περιβαλλοντικό κόστος των ορυκτών καυσίμων, θα μπορούσε να καταστήσει το βιοντίζελ μια πολύ ελκυστική εναλλακτική λύση (Perin and Jones, 2019). Οι ερευνητικές δομές που υπάρχουν ήδη και στις δύο χώρες, παρά την υστέρηση της Αργεντινής, μπορεί επίσης να αποδειχθούν ζωτικής σημασίας για τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς.

Κινητοποίηση Πόρων και Δημιουργία Κοινωνικής Νομιμοποίησης

Το PNPB και ο Νόμος 26,093 ήταν σημαντικές προσπάθειες για την προώθηση του βιοντίζελ όσον αφορά την κινητοποίηση πόρων (Λειτουργία 6) και την εδραίωση της κοινωνικής αποδοχής (Λειτουργία 7). Στην περιοχή, λόγω της αφθονίας και των χαμηλών τιμών του σογιέλαιου, τέτοια έργα λαμβάνουν γενικά μεγάλη προσοχή από τα μέσα ενημέρωσης. Τα οφέλη του βιοντίζελ έχουν διαδοθεί ευρέως στο κοινό, οδηγώντας σε μεγάλη αποδοχή και συμμετοχή της κοινότητας, η έλλειψη των οποίων αποτελεί συχνά κύριο εμπόδιο για τη διάδοση της καινοτομίας που σχετίζεται με τα βιοκαύσιμα (da Silva Filho et al., 208). Οι βιομηχανίες πετρελαίου και αυτοκινήτων αποτελούν έναν άλλο κατεστημένο φορέα, ο οποίος θα μπορούσε να αντισταθεί σε βαθιές αλλαγές μετασχηματισμού, όπως η υιοθέτηση των EV (Stokes and Breetz, 2018). Μια κύρια ανησυχία τους προέρχεται από το φόβο ότι το βιοντίζελ θα αντικαταστήσει τους συμβατικούς κινητήρες, οδηγώντας έτσι σε μείωση των κερδών (Chin et al., 2014). Ωστόσο, η χρήση σόγιας στην περιοχή στην υφιστάμενη ποσόστωση στο μείγμα δεν απαιτεί σημαντικές τροποποιήσεις στον κινητήρα (Hassan and Kalam, 2013), ενώ η χρήση βιοντίζελ κυρίως στις εμπορευματικές μεταφορές μειώνει την απειλή ακόμη και για τέτοιους παράγοντες. Έτσι κάμπτεται η πιθανή αντίσταση μιας σημαντικής ομάδας παραγόντων που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ανασταλτικά στη μετάβαση.

Ταυτόχρονα, η κοινωνική αποδοχή επέτρεψε στις νομοθετικές προσπάθειες να είναι αποτελεσματικές τόσο οικονομικά όσο και αναφορικά με τη διαχείριση ανθρώπινων πόρων. Όπως τονίστηκε, τόσο οι μικροί παραγωγοί (συμπεριλαμβανομένων των τοπικών αγροτών) όσο και οι μεγαλύτερες εταιρείες συμμετείχαν στις δραστηριότητες σχετικά με το βιοντίζελ, αν και αντλώντας από τη μερική αποτυχία της PNPB ο ρόλος των μικρών παραγωγών θα μπορούσε να ενισχυθεί. Αυτή η ευρεία συμμετοχή επέτρεψε την ευρεία χρήση οικονομικών κινήτρων, κυρίως μέσω φόρων (De Oliveira et al., 2019), δημιουργώντας μια ισχυρή αγορά που προσελκύει επίσης ιδιωτικές επενδύσεις, ειδικά για παράδειγμα στη Βραζιλία με την πρόσφατη εισαγωγή του RenovaBio (Salina et al., 2020). Ωστόσο, η επιμήκυνση της εξάρτησης από φόρους και άλλες μορφές κινήτρων ώστε οι καινοτομίες που σχετίζονται με τα βιοκαύσιμα να είναι οικονομικά βιώσιμες παρέχει ένα θεωρητικό αποτέλεσμα το οποίο είναι κρίσιμο για τη μελέτη της διάδοσης παρόμοιων τεχνολογιών σε άλλες χώρες, ενώ προετοιμάζει το έδαφος για την προώθηση των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς. Αντλώντας από τα θεωρητικά θεμέλια της σύνδεσης MLP-TIS (Υποκεφάλαιο 6.2), οι τεχνολογίες που αναδύονται στο TIS μπορούν να τοποθετούνται τόσο στο μικρο- όσο και στο μέσο-επίπεδο, διευρύνοντας τα τυπικά αυστηρά

σύνορα και διακρίσεις του MLP. Εδώ, είναι προφανές ότι τα βιοκαύσιμα και στις δύο χώρες αντιπροσωπεύουν ένα τέτοιο μερίδιο και δομές που μπορούν να ταξινομηθούν ως καθεστωτικά, αλλά η ύπαρξη οικονομικών κινήτρων (προστατευόμενος χώρος) εξακολουθεί να υπαινίσσεται niche συμπεριφορές, εισάγοντας μια τρίτη ταξινόμηση τεχνολογιών που ενσωματώνουν και τα δύο χαρακτηριστικά και άρα τοποθετούνται στα όρια του καθεστώτος, υπογραμμίζοντας περαιτέρω την ανάγκη για ολοκληρωμένες μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Καθώς οι πορείες MLP που αναδείχθηκαν οδηγούν πιο κοντά στα προηγμένα βιοκαύσιμα για την αύξηση της βιωσιμότητας, η πλήρης διείσδυση στο καθεστώς θα καταστεί αναγκαία για τις εν λόγω τεχνολογίες έστω και σε στοχευμένα υποκαθεστώτα, με τις τρέχουσες πορείες να μην ευθυγραμμίζονται ακόμη με την πλήρη διάρρηξη, όπως φαίνεται από την τρέχουσα στασιμότητα στη διάδοση βιοντίζελ κατά την επίτευξη των στόχων ποσόστωσης.

6.6 Συμπεράσματα

Αυτό το κεφάλαιο είχε ως στόχο να αναλύσει την ιστορική εξέλιξη του καθεστώτος μεταφορών στη Βραζιλία και την Αργεντινή, καθώς και τις πιέσεις και τις ευκαιρίες που δημιουργήθηκαν από το ευρύτερο περιβάλλον και κυρίως από ένα σημαντικό αριθμό από κρίσεις, για να κατανοήσουμε τις συνθήκες που επέτρεψαν την πρόσφατη εμφάνιση του βιοντίζελ ως μια από τις κυρίαρχες τεχνολογίες. Χρησιμοποιήθηκαν δύο πλαίσια μετάβασης βιωσιμότητας, το MLP και το TIS, επιτρέποντας τη μελέτη των κοινωνικο-τεχνικών μεταβάσεων των δύο χωρών και τη διάδοση της καινοτομίας εντός των συστημάτων: το MLP χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του καθεστώτος που κυριαρχείται από ορυκτά καύσιμα και των ιστορικών αλλαγών που προκύπτουν από πιέσεις του ευρύτερου περιβάλλοντος και εναλλακτικές καινοτομίες. Το TIS από την άλλη χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση του σχηματισμού του συστήματος καινοτομίας βιοντίζελ και να τοποθετηθεί εντός των MLP μονοπατιών, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ εναλλακτικών καυσίμων. Η εφαρμογή των πλαισίων σε μια διαφοροποιημένη ολοκληρωμένη προσέγγιση, αντί για μια συμβατική ιστορική ανάλυση, επέτρεψε την αποκάλυψη γνώσεων που μπορούν να βοηθήσουν στην καθοδήγηση της μετάβασης και στην κατανόηση των παραγόντων πίσω από την τεχνολογική και συστημική αλλαγή (Nikas et al., 2017).

Συγκεκριμένα, η ανάλυση του MLP κατέστησε σαφές ότι οι παράγοντες ευρύτερου περιβάλλοντος με τη μορφή διαφορετικών κρίσεων (πετρελαϊκή, ύφεση και πολιτικές αναταράξεις) είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη διαμόρφωση του καθεστώτος μεταφορών, ιδίως

λαμβάνοντας υπόψη τις θεσμικές, νομοθετικές και δημοσιονομικές προσαρμογές που έπρεπε να πραγματοποιηθούν στο καθεστώς για να προσαρμοστούν σε αυτές τις πιέσεις. Κατά συνέπεια, οι δύο χώρες ακολούθησαν σημαντικά διαφορετικές πορείες, με τη Βραζιλία να επιδιώκει την ενίσχυση της χρήσης των βιοκαυσίμων και ιδιαίτερα της αιθανόλης και την Αργεντινή να ενισχύει το φυσικό αέριο λόγω της παγκόσμιας πετρελαϊκής και εγχώριας οικονομικής κρίσης. Ως εκ τούτου, παρόλο που τα παράθυρα ευκαιρίας παρείχαν τους απαραίτητους κλυδωνισμούς αποσταθεροποίησης τα βασισμένα σε ορυκτά καθεστώτα, οι πολιτικές της Βραζιλίας ήταν αυτές που οδήγησαν τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη πορεία από νωρίς, ενώ η Αργεντινή ήταν εγκλωβισμένη σε μια πορεία βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα, με επακόλουθα διαδοχικά οικονομικά προβλήματα να δημιουργούν δυσκολίες στην ανάδειξη ανατρεπτικών καινοτομιών. Οι πορείες των δύο χωρών άρχισαν να δείχνουν σημάδια ευθυγράμμισης μόνο μετά το 2005-2006, όταν και οι δύο επένδυσαν στην επέκταση της βιομηχανίας βιοντίζελ. Στην Αργεντινή, η οικονομική κρίση του 1998-2002 ήταν αυτή που οδήγησε στην προώθηση του βιοντίζελ, ενώ στη Βραζιλία μετά την ανάπτυξη του 2005 παρατηρήθηκε δεύτερη αύξηση το 2014 μετά τη σοβαρή πολιτική και οικονομική κρίση. Αυτό το πιο πρόσφατο παράθυρο ευκαιρίας επέτρεψε την επέκταση της βιομηχανίας βιοντίζελ, καθιστώντας τη Βραζιλία και την Αργεντινή δύο από τους σημαντικότερους παραγωγούς βιοντίζελ σόγιας παγκοσμίως.

Η κατανόηση των λόγων πίσω από την επιτυχία του βιοντίζελ στις δύο χώρες είναι ένα σημαντικό βήμα για την ενημέρωση των μελλοντικών μονοπατιών βιωσιμότητας που επικεντρώνονται σε βαθύτερους μετασχηματισμούς, καθώς από το 1990 και μετά οι μειώσεις εκπομπών CO2 παρατηρούνται μόλις πρόσφατα (αποσυνδεδεμένες από τις μειώσεις της ζήτησης ενέργειας), ως αποτέλεσμα και της αύξησης των μεριδίων βιοκαυσίμων. Πρόκειται για ένα παρόμοιο φαινόμενο και στις δύο χώρες, παρά τις σημαντικά διαφορετικές ιστορικές πορείες τους, το οποίο ωστόσο εξελίσσεται σε διαφορετικές κλίμακες. Οι μειώσεις των εκπομπών από τις μεταφορές είναι μεγαλύτερες στη Βραζιλία από ό,τι στην Αργεντινή, όπου η αρχική μείωση ακολουθήθηκε από περίοδο σταθεροποίησης. Οι αποκλίσεις αυτές αποδίδονται στις διαφορετικές νομοθετικές προσεγγίσεις όσον αφορά το βιοντίζελ και το ενεργειακό μείγμα. Η Αργεντινή μετέβη ταχύτερα σε μερίδιο 10% στο μείγμα επιτυγχάνοντας το στόχο που είχε τεθεί νομικά αλλά μένοντας στάσιμη στην συνέχεια, ενώ η Βραζιλία ακολούθησε μια σταθερότερη αύξηση έχοντας τη δυνατότητα να βελτιώσει περαιτέρω την αποδοτικότητα του τομέα και να αυξήσει το μερίδιο των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα. Ως εκ τούτου, κλειδί

για την απανθρακοποίηση και των δύο τομέων έγκειται στην προώθηση της αύξησης της κατανάλωσης βιοντίζελ μετά την επίτευξη του ορόσημου του 10%, δεδομένου ότι η παραγωγή εξακολουθεί να βασίζεται σε φορολογικά κίνητρα για να είναι οικονομικά βιώσιμη, αλλά και τη μεταφορά γνώσεων και μηνυμάτων καθώς μεταβαίνουμε σταδιακά στην περίοδο των προηγμένων βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς. Μέρος των διαφορετικών προσεγγίσεων πολιτικής μπορεί να εντοπιστεί στις οικονομικές δραστηριότητες των δύο χωρών, με την Αργεντινή να δίνει προτεραιότητα στις εξαγωγές και τη Βραζιλία να ενισχύει την εγχώρια αγορά. Υπό το πρίσμα των πιέσεων του ευρύτερου περιβάλλοντος που προέκυψαν από την κρίση Αργεντινής-Ισπανίας μετά την εθνικοποίηση της YPF, η εξισορρόπηση των εξαγωγών και της εγχώριας κατανάλωσης αποτελεί βασική πρόκληση για τον τομέα της Αργεντινής καθώς εξελίσσεται η μετάβαση. Για να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τις απειλές της επισιτιστικής ασφάλειας από την επέκταση του βιοντίζελ για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση από υψηλότερες ποσοστώσεις, και οι δύο χώρες πρέπει να επικεντρωθούν στη διαφοροποίηση των πρώτων υλών και να δημιουργήσουν παραγωγές κλίμακας για άλλα έλαια αντί να εξαρτώνται από τη σόγια (Cremonez et al., 2015; Van Dam et al., 2009; Atabani et al., 2013; Rosa et al., 2014; Miranda et al., 2018; Mota et al., 2018; Kligerman et al., 2015; da Silva César, 2015), γεγονός που θα μπορούσε επίσης να επιτρέψει την επέκταση των προσδιορισμένων τροχιών για να μετατοπιστούν από τα βιοκαύσιμα πρώτης στη δεύτερης γενιάς.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 6

Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2008). Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. *Utilities Policy*, *16*(2), 80–89.

Almada, L. P., & Parente, V. (2013). Oil & Gas Industry in Brazil: A Brief History and Legal Framework. *Panorama of Brazilian Law*, *1*(1), 223–232.

Al-Mulali, U., Solarin, S. A., & Ozturk, I. (2016). Biofuel energy consumption-economic growth relationship: An empirical investigation of Brazil. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *10*(6), 753–775.

Andrade, D. C., & Garcia, J. R. (2015). Estimating the Genuine Progress Indicator (GPI) for Brazil from 1970 to 2010. *Ecological Economics*, *118*, 49–56.

André Cremonez, P., Feroldi, M., Cézar Nadaleti, W., De Rossi, E., Feiden, A., De Camargo, M. P., Cremonez, F. E., & Klajn, F. F. (2015). Biodiesel production in Brazil: Current scenario and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 415–428.

Anuário estatístico. (2020).

Ari, I., & Sari, R. (2017). Differentiation of developed and developing countries for the Paris Agreement. *Energy Strategy Reviews*, *18*, 175–182.

Arias, D., Vieira, P. A., Contini, E., Farinelli, B., & Morris, M. (2017). Agriculture Productivity Growth in Brazil: Recent Trends and Future Prospects. *Agriculture Productivity Growth in Brazil: Recent Trends and Future Prospects*.

Asheim, B. T., & Isaksen, A. (1997). Location, agglomeration and innovation: Towards regional innovation systems in Norway? *European Planning Studies*, *5*(3), 299–330.

Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., & Fayaz, H. (2013). Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *18*, 211–245.

Axsen, J., & Sovacool, B. K. (2019). The roles of users in electric, shared and automated mobility transitions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *71*, 1–21.

Aytav, E., & Kocar, G. (2013). Biodiesel from the perspective of Turkey: Past, present and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *25*, 335–350.

Bach, H., Bergek, A., Bjørgum, Ø., Hansen, T., Kenzhegaliyeva, A., & Steen, M. (2020). Implementing maritime battery-electric and hydrogen solutions: A technological innovation systems analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *87*.

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, *37*(3), 407–429.

Bergmann, J. C., Tupinambá, D. D., Costa, O. Y. A., Almeida, J. R. M., Barreto, C. C., & Quirino, B. F. (2013). Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *21*, 411–420.

Berkeley, N., Bailey, D., Jones, A., & Jarvis, D. (2017). Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *106*, 320–332.

Bleaney, M. (2004). Argentina's currency board collapse: Weak policy or bad luck? *World Economy*, *27*(5), 699–714. x

Böhringer, C., Cantner, U., Costard, J., Kramkowski, L.-V., Gatzen, C., & Pietsch, S. (2020). Innovation for the German energy transition—Insights from an expert survey. *Energy Policy*, *144*.

Boschi, M. (2005). International financial contagion: Evidence from the Argentine crisis of 2001-2002. *Applied Financial Economics*, *15*(3), 153–163.

Bozbas, K. (2008). Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European

Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*(2), 542–552.
Bragagnolo, J., Kind, S., & Persello, A. (2014). *Evolution of the PV industry in Argentina*. 1403–1406.
Breschi, S., & Malerba, F. (2013). Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries. In *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations* (pp. 130–156).
Brondizio, E. S., & Moran, E. F. (2012). Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970 to 2001. *Population and Environment*, *34*(1), 69–85.
Bruhn, C. H. L., Gomes, J. A. T., Del Lucchese Jr., C., & Johann, P. R. S. (2003). Campos basin: Reservoir characterization and management—Historical overview and future challenges. *Offshore Technology Conference*, 1–14.
Calvo, G., Izquierdo, A., & Talvi, E. (2002). Sudden stops, the real exchange rate and fiscal sustainability: Argentina's lessons. *Sudden Stops, the Real Exchange Rate and Fiscal Sustainability: Argentina's Lessons*.
Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, *1*(2), 93–118.
Carvalho, T. S., Santiago, F. S., & Perobelli, F. S. (2020). Demographic change in Brazil and its impacts on CO2 emissions. *Economic Systems Research*, 1–17.
Cavalcanti, T., & Jalles, J. T. (2013). Macroeconomic effects of oil price shocks in Brazil and in the United States. *Applied Energy*, *104*, 475–486.
César, A. D. S., Almeida, F. D. A., De Souza, R. P., Silva, G. C., & Atabani, A. E. (2015). The prospects of using Acrocomia aculeata (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 1213–1220.
Chin, H.-C., Choong, W.-W., Wan Alwi, S. R., & Mohammed, A. H. (2014). Issues of social acceptance on biofuel development. *Journal of Cleaner Production*, *71*, 30–39.
Chong, Z. R., Yang, S. H. B., Babu, P., Linga, P., & Li, X.-S. (2016). Review of natural gas hydrates as an energy resource: Prospects and challenges. *Applied Energy*, *162*, 1633–1652.
Chung, C.-C. (2018). Technological innovation systems in multi-level governance frameworks: The case of Taiwan's biodiesel innovation system (1997–2016). *Journal of Cleaner Production*, *184*, 130–142.
Coenen, L. (2015). Engaging with changing spatial realities in TIS research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *16*, 70–72.
Coenen, L., Benneworth, P., & Truffer, B. (2012). Toward a spatial perspective on sustainability transitions. *Research Policy*, *41*(6), 968–979.
Collantes, G., & Melaina, M. W. (2011). The co-evolution of alternative fuel infrastructure and vehicles: A study of the experience of Argentina with compressed natural gas. *Energy Policy*, *39*(2), 664–675.
Cooke, P., Uranga, M. G., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, *26*(4–5), 475–491.
Costamagna, R., Arboledas, J. R. P., Erburu, L. S., Fernández-Hidalgo, E. R., Ruz, E. S., & Apascaritei, P. (2015). Repsol-YPF: An "illegal" expropriation. *Journal of Business Research*, *68*(2), 255–262.
Costantini, V., Crespi, F., Martini, C., & Pennacchio, L. (2015). Demand-pull and technology-push public support for eco-innovation: The case of the biofuels sector. *Research Policy*, *44*(3), 577–595.
Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauch, L., Van Vuuren, D. P., McCollum, D., & Minx, J. (2015). Transport: A roadblock to climate change mitigation? *Science*, *350*(6263), 911–912.
da Silva César, A., Conejero, M. A., Barros Ribeiro, E. C., & Batalha, M. O. (2019). Competitiveness analysis of "social soybeans" in biodiesel production in Brazil. *Renewable Energy*, 1147–

1157.
Dantas, E., & Bell, M. (2009). Latecomer firms and the emergence and development of knowledge networks: The case of Petrobras in Brazil. *Research Policy*, *38*(5), 829–844.
Das, S. (2020). The National Policy of biofuels of India – A perspective. *Energy Policy*, *143*.
De Oliveira, F. C., & Coelho, S. T. (2017). History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *75*, 168–179.
De Oliveira, F. C., Lopes, T. S. A., Parente, V., Bermann, C., & Coelho, S. T. (2019). The Brazilian social fuel stamp program: Few strikes, many bloopers and stumbles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *102*, 121–128.
De Oliveira-De Jesus, P. M., González De León, M., & Melán, R. A. (2020). A mitigation scenario for Latin American power-related carbon dioxide emissions. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, *15*(10–12), 492–512.
de Pablo, J. C. (1977). Beyond import substitution: The case of Argentina. *World Development*, *5*(1–2), 7–17.
Denny, D. M. T. (2020). Competitive renewables as the key to energy transition—RenovaBio: The Brazilian biofuel regulation. In *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions* (pp. 223–242).
Dosi, G., & Nelson, R. R. (1994). An introduction to evolutionary theories in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, *4*(3), 153–172.
EDGAR. (2017). *EDGAR's global fossil CO2 emissions from 1990 to 2016*
Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*.
Edsand, H.-E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, *49*, 1–15.
EIA. (2004). *International Energy Outlook 2004*. Retrieved from: https://www.eia.gov/outlooks/ieo
Eliasson, J., & Proost, S. (2015). Is sustainable transport policy sustainable? *Transport Policy*, *37*, 92–100.
Embrapa. (2021). *International specialists debate tropical agriculture*. Retrieved from: https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/60041935/international-specialists-debate-tropical-agriculture
Engholm, A., Björkman, A., Joelsson, Y., Kristoffersson, I., & Pernestål, A. (2020). *The emerging technological innovation system of driverless trucks*. *49*, 145–149.
Escanés, G., & Poó, F. M. (2018). Driving anger in Argentina. *Safety Science*, *105*, 228–237.
Fick, J., & Jackson, V. (2020). *Brazil's ANP temporarily reduces biodiesel blend to 10% amid supply concerns*.
Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*.
Furtado, A. T., Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2020). Of actors, functions, and fuels: Exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in Brazil. *Energy Research and Social Science*, *70*.
Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, *31*(8–9), 1257–1274.
Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, *33*(6–7), 897–920.
Geels, F. W. (2005). Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, *72*(6 SPEC. ISS.), 681–696.
Geels, F. W. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy*, *39*(4), 495–510.

Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *1*(1), 24–40.

Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, *24*, 471–482.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, *36*(3), 399–417.

Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., & Wassermann, S. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990-2014). *Research Policy*, *45*(4), 896–913.

Geels, F. W., Schwanen, T., Sorrell, S., Jenkins, K., & Sovacool, B. K. (2018). Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. *Energy Research and Social Science*, *40*, 23–35.

Geraldes Castanheira, É., Grisoli, R., Freire, F., Pecora, V., & Coelho, S. T. (2014). Environmental sustainability of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, *65*, 680–691.

Grassi, M. C. B., & Pereira, G. A. G. (2019). Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. *Industrial Crops and Products*, *129*, 201–205.

Hacking, N., Pearson, P., & Eames, M. (2019). Mapping innovation and diffusion of hydrogen fuel cell technologies: Evidence from the UK's hydrogen fuel cell technological innovation system, 1954–2012. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(57), 29805–29848.

Hall, D. O., Rosillo-Calle, F., & de Groot, P. (1992). Biomass energy. Lessons from case studies in developing countries. *Energy Policy*, *20*(1), 62–73.

Hallack, L. N., Kaufmann, R., & Szklo, A. S. (2020). Price discovery in Brazil: Causal relations among prices for crude oil, ethanol, and gasoline. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, *15*(4), 230–251.

Hassan, M. Hj., & Kalam, Md. A. (2013). *An overview of biofuel as a renewable energy source: Development and challenges*. *56*, 39–53.

Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting and Social Change*, *76*(4), 584–594.

Hekkert, M. P., Hendriks, F. H. J. F., Faaij, A. P. C., & Neelis, M. L. (2005). Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development. *Energy Policy*, *33*(5), 579–594.

Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, *74*(4), 413–432.

Hirschhorn, F., Paulsson, A., Sørensen, C. H., & Veeneman, W. (2019). Public transport regimes and mobility as a service: Governance approaches in Amsterdam, Birmingham, and Helsinki. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *130*, 178–191.

Honoré, A. (2004). Argentina: 2004 Gas Crisis. *Argentina: 2004 Gas Crisis*.

Hopenhayn, H. A., & Neumeyer, P. A. (2005). Explaining Argentina's Great Depression of 1975-90. *Sources of Growth in Latin America, What Is Missing*, 119–156.

IEA. (2018). *Data and Statistics*. Retrieved from https://www.iea.org/data-and-statistics

Janssen, R., & Rutz, D. D. (2011). Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and

Jayed, M. H., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Mahlia, T. M. I., Husnawan, M., & Liaquat, A. M. (2011). Prospects of dedicated biodiesel engine vehicles in Malaysia and Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 220–235.

Johnson, A., & Jacobsson, S. (2001). Inducement and blocking mechanisms in the development of a new industry: The case of renewable energy technology in Sweden. *Technology and the*

Market. Demand, Users and Innovation, 89–111.

Johnson, F. X., & Silveira, S. (2014). Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: Comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *11*, 1–24.

Kehoe, T. J. (2003). What can we learn from the current crisis in Argentina? *Scottish Journal of Political Economy*, *50*(5), 609–633.

Kim, Y., Lee, J., & Ahn, J. (2019). Innovation towards sustainable technologies: A socio-technical perspective on accelerating transition to aviation biofuel. *Technological Forecasting and Social Change*, *145*, 317–329.

Kligerman, D. C., & Bouwer, E. J. (2015). Prospects for biodiesel production from algae-based wastewater treatment in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

Koasidis, K., Karamaneas, A., Nikas, A., Neofytou, H., Hermansen, E. A. T., Vaillancourt, K., & Doukas, H. (2020). Many miles to Paris: A sectoral innovation system analysis of the transport sector in Norway and Canada in light of the Paris agreement. *Sustainability*, *12*(14).

Köberle, A. C., Rochedo, P. R. R., Lucena, A. F. P., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2020). Brazil's emission trajectories in a well-below 2 °C world: The role of disruptive technologies versus land-based mitigation in an already low-emission energy system. *Climatic Change*, *162*(4), 1823–1842.

Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., Alkemade, F., Avelino, F., Bergek, A., Boons, F., Fünfschilling, L., Hess, D., Holtz, G., Hyysalo, S., Jenkins, K., Kivimaa, P., Martiskainen, M., McMeekin, A., Mühlemeier, M. S., … Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *31*, 1–32.

Köhler, J., Schade, W., Leduc, G., Wiesenthal, T., Schade, B., & Espinoza, L. T. (2013). Leaving fossil fuels behind? An innovation system analysis of low carbon cars. *Journal of*

Lamers, P., McCormick, K., & Hilbert, J. A. (2008). The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade. *Energy Policy*, *36*(4), 1479–1490.

Larsen, G. D. (2011). Understanding the early stages of the innovation diffusion process: Awareness, influence and communication networks. *Construction Management and Economics*, *29*(10), 987–1002.

Leguizamón, A. (2016). Disappearing nature? Agribusiness, biotechnology and distance in Argentine soybean production. *Journal of Peasant Studies*, *43*(2), 313–330.

Lepitzki, J., & Axsen, J. (2018). The role of a low carbon fuel standard in achieving long-term GHG reduction targets. *Energy Policy*, *119*, 423–440.

Lilliestam, J., Ollier, L., Labordena, M., Pfenninger, S., & Thonig, R. (2020). The near-to mid-term outlook for concentrating solar power: Mostly cloudy, chance of sun. *Energy Sources B Energy Econ Plann*, 1–9.

Lima, L. P. D., Ribeiro, G. B. D. D., & Perez, R. (2018). The energy mix and energy efficiency analysis for Brazilian dairy industry. *Journal of Cleaner Production*, *181*, 209–216.

Lipovich, G. A. (2008). The privatization of Argentine airports. *Journal of Air Transport Management*, *14*(1), 8–15.

Luchansky, M. S., & Monks, J. (2009). Supply and demand elasticities in the U.S. ethanol fuel market. *Energy Economics*, *31*(3), 403–410.

Lundvall, B.-A. (1992). User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, 45–67.

Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, *31*(2), 247–264.

Malerba, F. (2005). Sectoral systems of innovation: A framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors. *Economics of Innovation and New*

Technology, *14*(1–2), 63–82.
Marcossi, G. P. C., & Moreno-Pérez, O. M. (2018). A closer look at the Brazilian Social Fuel Seal: Uptake, operation and dysfunctions. *Biofuels*, *9*(4), 429–439.
Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, *37*(4), 596–615.
Markard, J., Hekkert, M., & Jacobsson, S. (2015). The technological innovation systems framework: Response to six criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *16*, 76–86.
Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, *41*(6), 955–967.
Mateo, J. P. (2018). The Accumulation of Capital and Economic Growth in Brazil: A Long-Term Perspective (1950–2008). *Review of Radical Political Economics*, *50*(2), 370–391.
Mathews, J. A., & Goldsztein, H. (2009). Capturing latecomer advantages in the adoption of biofuels: The case of Argentina. *Energy Policy*, *37*(1), 326–337.
Melgarejo Moreno, J., López Ortiz, M. I., & Montaño Sanz, B. (2013). From privatisation to nationalisation: Repsol-YPF, 1999-2012. *Utilities Policy*, *26*, 45–55.
Metcalfe, J. S. (1998). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*.
Miedema, J. H., Van Der Windt, H. J., & Moll, H. C. (2018). Opportunities and Barriers for Biomass Gasification for Green Gas in the Dutch Residential Sector. *Energies*, *11*(11).
Milazzo, M. F., Spina, F., Primerano, P., & Bart, J. C. J. (2013). Soy biodiesel pathways: Global prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *26*, 579–624.
Minor, M. S. (1994). The Demise of Expropriation as an Instrument of LDC Policy 1980–1992. *Journal of International Business Studies*, *25*(1), 177–188.
Miranda, A. C., da Silva Filho, S. C., Tambourgi, E. B., CurveloSantana, J. C., Vanalle, R. M., & Guerhardt, F. (2018). Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *88*, 373–379.
Moallemi, E. A., de Haan, F. J., Webb, J. M., George, B. A., & Aye, L. (2017). Transition dynamics in state-influenced niche empowerments: Experiences from India's electricity sector. *Technological Forecasting and Social Change*, *116*, 129–141.
Monk, L. (2013). The Trains Don't Stop Here Anymore: Argentina's Ghost Towns. *Geography Teacher*, *10*(2), 60–72.
Moradi, A., & Vagnoni, E. (2018). A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways? *Technological Forecasting and Social Change*, *126*, 231–243.
Mota, F. A. S., Costa Filho, J. T., & Barreto, G. A. (2019). The Nile tilapia viscera oil extraction for biodiesel production in Brazil: An economic analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *108*, 1–10.
Muntean, M., Guizzardi, D., Schaaf, E., Crippa, M., Solazzo, E., Olivier, J. G. J., & Vignati, E. (2018). Fossil CO2 emissions of all world countries – 2018 report. EUR 29433 EN. *Fossil CO 2 Emissions of All World Countries-2018 Report*.
Nassif, A., Morandi, L., Araújo, E., & Feijó, C. (2020). Economic development and stagnation in Brazil (1950–2011). *Structural Change and Economic Dynamics*, *53*, 1–15.
Navas-Anguita, Z., García-Gusano, D., & Iribarren, D. (2019). A review of techno-economic data for road transportation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *112*, 11–26.
Naylor, R. L., & Higgins, M. M. (2017). The political economy of biodiesel in an era of low oil prices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *77*, 695–705.
Negash, M., & Swinnen, J. F. M. (2013). Biofuels and food security: Micro-evidence from Ethiopia. *Energy Policy*, *61*, 963–976.
Nehring, R. (2016). Yield of dreams: Marching west and the politics of scientific knowledge in the

Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). *Geoforum*, *77*, 206–217.
Nelson, R. R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*.
Nelson, R. R. (1995). Recent evolutionary theorizing about economic change. *Journal of Economic Literature*, *33*(1), 48–90.
Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*.
Nieuwenhuis, P., & Wells, P. (2003). *The Automotive Industry and the Environment* (p. 255). 9
Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, *21*(5), 1013–1034.
Nikas, A., Neofytou, H., Karamaneas, A., Koasidis, K., & Psarras, J. (2020). Sustainable and socially just transition to a post-lignite era in Greece: A multi-level perspective. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, *15*(10–12), 513–544.
Nogueira, L. A. H., Capaz, R. S., Souza, S. P., & Seabra, J. E. A. (2016). Biodiesel program in Brazil: Learning curve over ten years (2005–2015). *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *10*(6), 728–737.
Nogueira, T., de Souza, K. F., Fornaro, A., Andrade, M. F., & de Carvalho, L. R. F. (2015). On-road emissions of carbonyls from vehicles powered by biofuel blends in traffic tunnels in the Metropolitan Area of Sao Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, *108*, 88–97.
O'Riordan, T. (2013). Sustainability for wellbeing. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *6*, 24–34.
Oliveira, A. J., & Ramalho, J. (2006). PLANO Nacional de Agroenergia 2006-2011. *Plano Nacional De Agroenergia 2006-2011*.
Pacini, H., & Silveira, S. (2011). Consumer choice between ethanol and gasoline: Lessons from Brazil and Sweden. *Energy Policy*, *39*(11), 6936–6942.
Padilha, F., & Ng, A. K. Y. (2012). The spatial evolution of dry ports in developing economies: The Brazilian experience. *Maritime Economics and Logistics*, *14*(1), 99–121.
Padula, A. D., Santos, M. S., Ferreira, L., & Borenstein, D. (2012). The emergence of the biodiesel industry in Brazil: Current figures and future prospects. *Energy Policy*, *44*, 395–405.
Perin, G., & Jones, P. R. (2019). Economic feasibility and long-term sustainability criteria on the path to enable a transition from fossil fuels to biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*, *57*, 175–182.
Perry, W., & Kern, S. (1978). The Brazilian nuclear program in a foreign policy context. *Comparative Strategy*, *1*(1–2), 53–70.
Peyerl, D. (2019). The Oil of Brazil. *The Oil of Brazil*.
Pinto de Moura, G. N., Loureiro Legey, L. F., Balderrama, G. P., & Howells, M. (2017). South America power integration, Bolivian electricity export potential and bargaining power: An OSeMOSYS SAMBA approach. *Energy Strategy Reviews*, *17*, 27–36.
Pischke, E. C., Solomon, B., Wellstead, A., Acevedo, A., Eastmond, A., De Oliveira, F., Coelho, S., & Lucon, O. (2019). From Kyoto to Paris: Measuring renewable energy policy regimes in Argentina, Brazil, Canada, Mexico and the United States. *Energy Research and Social Science*, *50*, 82–91.
Postali, F. A. S. (2009). Petroleum royalties and regional development in Brazil: The economic growth of recipient towns. *Resources Policy*, *34*(4), 205–213.
Pou, S. A., Tumas, N., Sánchez Soria, D., Ortiz, P., & Díaz, M. D. P. (2017). Large-scale societal factors and noncommunicable diseases: Urbanization, poverty and mortality spatial patterns in Argentina. *Applied Geography*, *86*, 32–40.
Pousa, G. P. A. G., Santos, A. L. F., & Suarez, P. A. Z. (2007). History and policy of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, *35*(11), 5393–5398.
Pulley, R. H. (1966). The Railroad and Argentine National Development, 1852-1914. *The Americas*,

23, 65–66.
Rajagopal, D., & Plevin, R. J. (2013). Implications of market-mediated emissions and uncertainty for biofuel policies. *Energy Policy*, *56*, 75–82.
Ramirez, M. D. (2000). The impact of public investment on private investment spending in Latin America: 1980-95. *Atlantic Economic Journal*, *28*(2), 210–225.
Rasella, D., Basu, S., Hone, T., Paes-Sousa, R., Ocké-Reis, C. O., & Millett, C. (2018). Child morbidity and mortality associated with alternative policy responses to the economic crisis in Brazil: A nationwide microsimulation study. *PLoS Medicine*, *15*(5).
Rathmann, R., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2012). Targets and results of the Brazilian Biodiesel Incentive Program—Has it reached the Promised Land? *Applied Energy*, *97*, 91–100.
Raul Boschi, R., & Pinho, C. E. S. (2019). Crisis and austerity: The recent trajectory of capitalist development in Brazil. *Contemporary Politics*, *25*(3), 292–312.
Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2004). Serial default and the "paradox" of rich-to-poor capital flows. *American Economic Review*, *94*(2), 53–58.
Richardson, N. P. (2009). Export-oriented populism: Commodities and coalitions in Argentina. *Studies in Comparative International Development*, *44*(3), 228–255.
Richaud, C., Varoudakis, A., & Véganzonès, M.-A. (2000). Real exchange rate and openness in emerging economies: Argentina in the long run. *Applied Economics*, *32*(1), 1–11.
Rico, J. A. P., & Sauer, I. L. (2015). A review of Brazilian biodiesel experiences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 513–529.
Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. *Human Choice and Climate Change*, *2*, 327–399.
Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO2 emissions. *CO2 Emissions*.
Roberts, C., & Geels, F. W. (2018). Public Storylines in the British Transition from Rail to Road Transport (1896–2000): Discursive Struggles in the Multi-Level Perspective. *Science as Culture*, *27*(4), 513–542.
Roccatagliata, J. A., & Keeling, D. J. (2011). Transport geography in Argentina. *Journal of Transport Geography*, *19*(6), 1625–1626.
Rocchi, F. (2006). *Chimneys in the Desert: Industrialization in Argentina During the Export Boom Years, 1870-1930*.
Rocha, L. C. S., Aquila, G., Pamplona, E. D. O., de Paiva, A. P., Chieregatti, B. G., & Lima, J. D. S. B. (2017). Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives. *Journal of Cleaner Production*, *168*, 1448–1462.
Rodríguez-Pose, A., & Arbix, G. (2001). Strategies of waste: Bidding wars in the Brazilian automobile sector. *International Journal of Urban and Regional Research*, *25*(1), 134–154.
Rosa, H. A., Wazilewski, W. T., Secco, D., Chaves, L. I., Veloso, G., De Souza, S. N. M., Da Silva, M. J., & Santos, R. F. (2014). Biodiesel produced from crambe oil in Brazil—A study of performance and emissions in a diesel cycle engine generator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *38*, 651–655.
Rosillo-Calle, F., & Cortez, L. A. B. (1998). Towards proalcool II-A review of the Brazilian bioethanol programme. *Biomass and Bioenergy*, *14*(2), 115–124.
Rosillo-Calle, F., Pelkmans, L., & Walter, A. (2009). A global overview of vegetable oils, with reference to biodiesel. *A Global Overview of Vegetable Oils, with Reference to Biodiesel*.
Sadorsky, P. (2012). Energy consumption, output and trade in South America. *Energy Economics*, *34*(2), 476–488.
Safari, A., Das, N., Langhelle, O., Roy, J., & Assadi, M. (2019). Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation? *Energy Science and Engineering*, *7*(4), 1075–1094.
Salina, F. H., de Almeida, I. A., & Bittencourt, F. R. (2020). RenovaBio opportunities and biofuels

outlook in Brazil. In Renewable Energy and Sustainable Buildings: Selected Papers from the World Renewable Energy Congress WREC 2018 (pp. 391-399). Springer International Publishing.

Salvo, A., Brito, J., Artaxo, P., & Geiger, F. M. (2017). Reduced ultrafine particle levels in São Paulo's atmosphere during shifts from gasoline to ethanol use. *Nature Communications*,

Schilling, S. (2018). Final Energy Consumption by Sector. *Final Energy Consumption by Sector and Fuel*.

SEI, IISD, ODI, Climate Analytics, CICERO, and UNEP. (2019). *The Production Gap: The discrepancy between countries' planned fossil fuel production and global production levels consistent with limiting warming to 1.5°C or 2°C*. Retrieved from: https://www.unenvironment.org/resources/report/production-gap-report-2019

Sharmeen, F., & Meurs, H. (2019). *The Governance of Demand-Responsive Transit Systems—A Multi-level Perspective* (p. 227).

Silva Filho, S. C. D., Miranda, A. C., Silva, T. A. F., Calarge, F. A., Souza, R. R. D., Santana, J. C. C., & Tambourgi, E. B. (2018). Environmental and techno-economic considerations on biodiesel production from waste frying oil in São Paulo city. *Journal of Cleaner Production*, *183*, 1034–1042.

Silvestre, B. d. S., & Dalcol, P. R. T. (2009). Geographical proximity and innovation: Evidences from the Campos Basin oil & gas industrial agglomeration-Brazil. *Technovation*, *29*(8), 546–561.

Siskos, P., Zazias, G., Petropoulos, A., Evangelopoulou, S., & Capros, P. (2018). Implications of delaying transport decarbonisation in the EU: A systems analysis using the PRIMES model. *Energy Policy*, *121*, 48–60.

Smith, A., Stirling, A., & Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, *34*(10), 1491–1510.

Soil Survey Staff, N. R. C. S. (2020). United States Department of Agriculture. *United States Department of Agriculture*.

Song, L., Lieu, J., Nikas, A., Arsenopoulos, A., Vasileiou, G., & Doukas, H. (2020). Contested energy futures, conflicted rewards? Examining low-carbon transition risks and governance dynamics in China's built environment. *Energy Research and Social Science*, *59*.

Stattman, S. L., Hospes, O., & Mol, A. P. J. (2013). Governing biofuels in Brazil: A comparison of ethanol and biodiesel policies. *Energy Policy*, *61*, 22–30.

Stokes, L. C., & Breetz, H. L. (2018). Politics in the U.S. energy transition: Case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy. *Energy Policy*, *113*, 76–86.

Suurs, R. A. A., & Hekkert, M. P. (2009). Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, *76*(8), 1003–1020.

Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2009). Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, *34*(24), 9639–9654.

Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., Kieboom, S., & Smits, R. E. H. M. (2010). Understanding the formative stage of technological innovation system development: The case of natural gas as an automotive fuel. *Energy Policy*, *38*(1), 419–431.

Taylor, A. M. (2018). The Argentina Paradox: Microexplanations and macropuzzles. *Latin American Economic Review*, *27*(1). https://doi.org/10.1007/s40503-017-0051-8

Teitel, S., & Thuomi, F. E. (1986). From import substitution to exports: The manufacturing exports experience of Argentina and Brazil. *Economic Development & Cultural Change*, *34*(3), 455–490.

Timilsina, G. R., Chisari, O. O., & Romero, C. A. (2013). Economy-wide impacts of biofuels in Argentina. *Energy Policy*, *55*, 636–647.

Tomei, J., & Upham, P. (2009). Argentinean soy-based biodiesel: An introduction to production and impacts. *Energy Policy*, *37*(10), 3890–3898.

Tongur, S., & Engwall, M. (2017). Exploring window of opportunity dynamics in infrastructure transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *25*, 82–93.

van Dam, J., Faaij, A. P. C., Hilbert, J., Petruzzi, H., & Turkenburg, W. C. (2009). Large-scale bioenergy production from soybeans and switchgrass in Argentina. Part A: Potential and economic feasibility for national and international markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(8), 1710–1733.

Vassallo, J. E. (2018). Status of Emission Control Science and Technology in Argentina. *Emission Control Science and Technology*, *4*(2), 73–77.

Vernon, R. (1976). *The Oil Crisis*.

Viglizzo, E. F., Ricard, M. F., Taboada, M. A., & Vázquez-Amábile, G. (2019). Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment*, *661*, 531–542.

Waterworth, A., & Bradshaw, M. J. (2018). Unconventional trade-offs? National oil companies, foreign investment and oil and gas development in Argentina and Brazil. *Energy Policy*, *122*, 7–16.

Whitmarsh, L. (2012). How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research? *Journal of Transport Geography*, *24*, 483–487.

Wilkinson, J., & Herrera, S. (2010). Biofuels in brazil: Debates and impacts. *Journal of Peasant Studies*, *37*(4), 749–768.

Yıldırım, S., Gedikli, A., Erdoğan, S., & Yıldırım, D. Ç. (2020). Natural resources rents-financial development nexus: Evidence from sixteen developing countries. *Resources Policy*, *68*.

Zuev, D. (2020). E-bike as a technological innovation system in China: Transition to the stage of institutionalized certainty? *Applied Mobilities*, *5*(3), 251–270.

ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙΙ.

ΣΥΝΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΕΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 7. Η μέθοδος ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple group TOPSIS: εφαρμογές σε εργαστήριο στην Ευρώπη και σε παγκόσμια έρευνα

7.1 Εισαγωγή

Το 2000, ο ΟΗΕ πραγματοποίησε τη Σύνοδο Κορυφής της Χιλιετίας (Millennium Summit) για να ενθαρρύνει τους παγκόσμιους ηγέτες να δεσμευτούν για την εκπλήρωση ενός συνόλου οκτώ στόχων γνωστών ως Αναπτυξιακοί Στόχοι της Χιλιετίας (Millennium Development Goals - MDGs) μέχρι το 2015 (ΟΗΕ, 2000), μέσω της τη Διακήρυξη της Χιλιετίας. Οι στόχοι αυτοί έδωσαν σημαντικό βάρος στην αντιμετώπιση της ακραίας φτώχειας, και μεταξύ των άλλων περιλάμβαναν στόχους σχετικούς με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Sachs and McArthur, 2005) με αποτέλεσμα να θεωρηθούν ως σημαντικό βήμα για την παρακολούθηση της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης, ιδίως για τις αναπτυσσόμενες χώρες (Easterly, 2009), και παράλληλα να εμπλέξουν ΜΚΟ και πολίτες (Brinkerhoff et al., 2007). Η παρατηρούμενη πρόοδος προς την επίτευξη των στόχων (Sachs, 2012) οδήγησε τους παγκόσμιους ηγέτες να επεκτείνουν τους MDGs για την επόμενη 15-ετή περίοδο (Griggs et al., 2013) ενισχύοντας τους στόχους έως το 2030, ανοίγοντας το δρόμο για την υιοθέτηση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals - SDGs) το 2015, παράλληλα με τη Συμφωνία του Παρισιού. Στο πλαίσιο της Ατζέντας για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, τα SDG αποτέλεσαν ένα σύνολο δεκαεπτά αλληλένδετων στόχων (Nilsson et al., 2016) εκπροσωπώντας ένα ευρύ φάσμα προτεραιοτήτων που αντιπροσωπεύουν πολλαπλές διαστάσεις βιωσιμότητας, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης της ζωής της γης και του νερού, της καθαρής ενέργειας και κοινωνικοπολιτικών στόχων. Από αυτούς τους στόχους, η δράση για το κλίμα (SDG13) έχει βρεθεί ότι έχει ισχυρές διασυνδέσεις με άλλα SDGs (Köberle et al., 2020), καταδεικνύοντας ότι τα SDGs και η συμφωνία του Παρισιού είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, ειδικότερα καθώς η πορεία προς τον στόχο των «πολύ κάτω» 2°C επηρεάζει και επηρεάζεται από διαφορετικούς στόχους SDG (Nerini et al., 2018).

Παρά την αναμφισβήτητη αξία των SDG στη μελέτη της πορείας προς τη βιωσιμότητα (Fuss et al., 2016; Roe et al., 2019), οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής σε εθνικό επίπεδο εξακολουθούν να διστάζουν στις προσπάθειές τους να επιτύχουν αυτούς τους στόχους λόγω έλλειψης σαφούς κατανόησης σχετικά με τον τρόπο μετάφρασης των παγκόσμιων στόχων στο εθνικό και τοπικό τους πλαίσιο (Bryan et al., 2019). Από την άλλη, έχει διαπιστωθεί ότι τα SDG μπορούν να

αξιολογηθούν σε μερικό βαθμό με εργαλεία αποτίμησης της κλιματικής πολιτικής (Grubler et al., 2018), συμπεριλαμβανομένων των IAMs (Nikas et al., 2019). Η εκπροσώπηση των SDG στα IAMs εξετάστηκε διεξοδικά από τους van Soest et al. (2019), οι οποίοι υποστήριξαν ότι οι περισσότεροι στόχοι αντιπροσωπεύονται μόνο εν μέρει μέσω ορισμένων επιμέρους υποστόχων/δεικτών τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι επιμέρους στόχοι δεν είναι πάντα χρήσιμοι ή ουσιαστικοί όσον αφορά την ανάλυση μετριασμού και δεν εμπίπτουν στις δυνατότητες μοντελοποίησης και πολλές φορές έχουν ποιοτικές διαστάσεις. Για παράδειγμα, οι Fujimori et al., (2019) υπογραμμίζουν τη σημασία της καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής (SDG 13) σε σχέση με το SDG2 (διατροφή) λόγω των συμβιβασμών μεταξύ του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και της επισιτιστικής ασφάλειας (πχ., δείκτης που αφορά τον αριθμό ατόμων που διατρέχουν κίνδυνο πείνας). Ομοίως, οι Iyer et al. (2018) περιόρισαν την ανάλυση ορισμένων υποσυνόλων SDG για να μελετήσουν τις επιπτώσεις των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών (NDC) στους SDG χρησιμοποιώντας το μοντέλο GCAM, αναλύοντας την ποιότητα του αέρα, την πρόσβαση στην ενέργεια, την ενεργειακή ασφάλεια, την επισιτιστική ασφάλεια και την ποιότητα των ωκεανών ως υποκατάστατα για τη μέτρηση των SDG 3, 7, 2 και 14 αντίστοιχα. Από την άλλη, οι Luderer et al. (2019) αντιπροσώπευσαν την ποιότητα του αέρα χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων, συμπεριλαμβανομένου του σχηματισμού μικροσωματιδίων (particulate matter – PM) και της ιονίζουσας ακτινοβολίας, η οποία είναι σημαντική σε σενάρια με αυξημένη χρήση πυρηνικής ενέργειας. Οι McCollum et al. (2018b) σε μια άσκηση σύγκρισης μοντέλων μελέτησαν τους SDG 2, 3, 4, 6, 7 σύμφωνα με τους στόχους της συμφωνίας του Παρισιού. Ο Πίνακας 7.1 παρουσιάζει πρόσφατες μελέτες μοντελοποίησης που εξετάζουν τις επιπτώσεις στα SDG από τις πολιτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Πίνακας 7.1. Πρόσφατες μελέτες μοντελοποίησης που συζητούν τις επιπτώσεις στους SDG από τις πολιτικές μετριασμού

Μελέτη	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
Luderer et al., 2019			√			√						√		√	√		
von Stechow et al., 2016		√	√				√	√	√			√	√	√			
Fujimori et al., 2019		√											√				
Doelman et al., 2020		√											√				

Μελέτη	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
Vandyck et al., 2018		√	√				√						√		√		
Gil and Bernardo, 2020							√	√					√				
van der Zwann et al., 2018	√						√	√					√				
van Soest et al., 2019	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Rosenzweig et al., 2017		√	√														
Parkinson et al., 2019						√							√				
Ribas et al., 2017							√										
Ribas et al., 2019	√	√	√	√	√	√	√	√		√							
McCollum et al., 2018a	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Roe et al., 2019		√				√						√		√	√		
Dooley et al., 2018		√											√		√		
Zhou et al., 2020		√	√			√	√										
Michaelis and Wirths, 2020														√	√		
Dalla Longa and van der Zwaan, 2017							√				√		√				
McCollum et al., 2018b		√	√	√		√	√						√				
Taliotis et al., 2020							√						√				
Wachsmuth et al., 2019			√														
Fuhrman et al., 2019			√							√							
Lucas et al., 2019		√	√	√		√	√						√				
Byers et al., 2018	√	√				√	√						√		√		
Jakob et al., 2019		√	√	√													
Godinez-Zamora et al., 2020		√												√	√		
Liu et al., 2019		√	√				√						√		√		
Iyer et al., 2018		√	√				√							√			

Μελέτη	SDG1	SDG2	SDG3	SDG4	SDG5	SDG6	SDG7	SDG8	SDG9	SDG10	SDG11	SDG12	SDG13	SDG14	SDG15	SDG16	SDG17
van der Zwaan et al., 2019							√						√				
van de Ven et al., 2019			√				√						√				
Johnson et al., 2019						√											
Portugal-Pereira et al., 2018			√								√						
Humpenöder et al., 2018		√					√						√	√	√		
Doelman et al., 2019		√											√				
Garcia-Casals et al., 2019								√									
Fujimori et al., 2020		√	√			√	√	√	√			√			√		
Capellán-Pérez, 2020							√										
Rafaj et al., 2018			√				√				√		√				
Gil et al., 2019	√	√											√	√	√		
Fuss et al., 2016	√	√					√							√	√		
Haga et al., 2020							√						√		√		
Tatarewicz et al., 2019							√						√				
Kearney, 2019													√				
Dioha M. et al., 2020											√						
O'neil et al., 2020				√													
Lanati et al., 2019							√										
Dagnachew et al., 2018							√										

Παρόλο που αυτές οι σύγχρονες μελέτες παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες όσον αφορά την επίτευξη των SDGs, το γεγονός ότι τα αποτελέσματα επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις επιλογές παραμέτρων που γίνονται από τις ομάδες μοντελοποίησης ή οδηγούνται από τους περιορισμούς στις δυνατότητες των μοντέλων μπορεί να οδηγήσει σε απροθυμία ή δισταγμό των αποφασιζόντων να κάνουν χρήση των αποτελεσμάτων υποστήριξης πολιτικής που προκύπτουν. Αυτό έρχεται να προστεθεί σε μια υπάρχουσα κριτική των IAMs ότι είναι

πολύπλοκα και συχνά θεωρούνται «μαύρα κουτιά» (Doukas et al., 2018), καθιστώντας δύσκολο για τους ενδιαφερόμενους να μεταφράσουν τα αποτελέσματά τους σε πρακτικές δράσεις ή ακόμη και να συμμετάσχουν στην επιστημονική διαδικασία. Ωστόσο, αυτή η ισχυρή αλληλεξάρτηση των SDGs με την ενέργεια και οι ποικίλες και πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους δημιουργούν την ανάγκη καθιέρωσης νέων προσεγγίσεων στις προσπάθειες ολοκληρωμένης αξιολόγησης (McCollum et al., 2018a). Για να γεφυρωθεί αυτό το χάσμα, όπως και σε άλλους τομείς που εμφανίζονται παρόμοια ζητήματα (Zopounidis and Doumpos, 2002), η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων (MCDA) χρησιμοποιείται συχνά για να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στο δύσκολο έργο της χάραξης πολιτικής για το κλίμα (Doukas and Nikas, 2020). Σε συνδυασμό με κλιματικά και ενεργειακά-οικονομικά μοντέλα, μέθοδοι MCDA εφαρμόζονται συνήθως για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης και τη δημιουργία ισχυρών μιγμάτων πολιτικής (Shmelev και Van Den Bergh, 2016), την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων (Baležentis και Streimikiene, 2017) ή την κατάταξη των σχετικών μεταβατικών κινδύνων (Jun et al., 2013; Nikas et al., 2018b). Ωστόσο, μέθοδοι MCDA μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πληροφοριών σε μοντέλα μέσω της συμπερίληψης των ενδιαφερόμενων μερών και των προτιμήσεών τους. Τέτοιες μικτές μεθοδολογίες διαπιστώνεται ότι αποδίδουν καλύτερα όσον αφορά την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας στη λήψη αποφάσεων από ό,τι μελέτες που βασίζονται αποκλειστικά σε IAMs (Scholten et al., 2017). Αυτό μετατοπίζει τη συζήτηση σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη διαμόρφωση δράσης και την τοποθετεί στο ευρύ φάσμα βιωσιμότητας, και συγκεκριμένα από τη «ζώνη άνεσης» των IAMs (Nikas et al., 2021) στα αντικείμενα που τα ενδιαφερόμενα μέρη πιστεύουν ότι είναι σημαντικά να μελετηθούν όπως επίσης και ποιες παραδοχές έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο.

Στο πλαίσιο της επέκτασης των δυνατοτήτων μοντελοποίησης για την ενσωμάτωση των προτιμήσεων των ενδιαφερομένων, το κεφάλαιο αυτό εισάγει το μοντέλο 2-tuple Group TOPSIS, μια τεχνική MCDA και συγκεκριμένα ομαδικής λήψης αποφάσεων, για να διαμορφώσει ασκήσεις προτεραιοποίησης που παρουσιάζονται σε όλη την Ενότητα III. Ειδικότερα στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου, και πέραν από μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών MCDA που εξέτασαν τα SDG με ιδιαίτερη έμφαση στην κλιματική πολιτική, το πλαίσιο ομαδικής λήψης αποφάσεων εφαρμόζεται σε ένα εργαστήριο με τη συμμετοχή ενδιαφερομένων, για την προτεραιοποίηση των SDGs και την ανάγκη ενσωμάτωσης τους σε ασκήσεις μοντελοποίησης. Ένα σημαντικό σημείο που επιχειρεί επίσης να συλλάβει αυτή η μελέτη είναι οι διακυμάνσεις

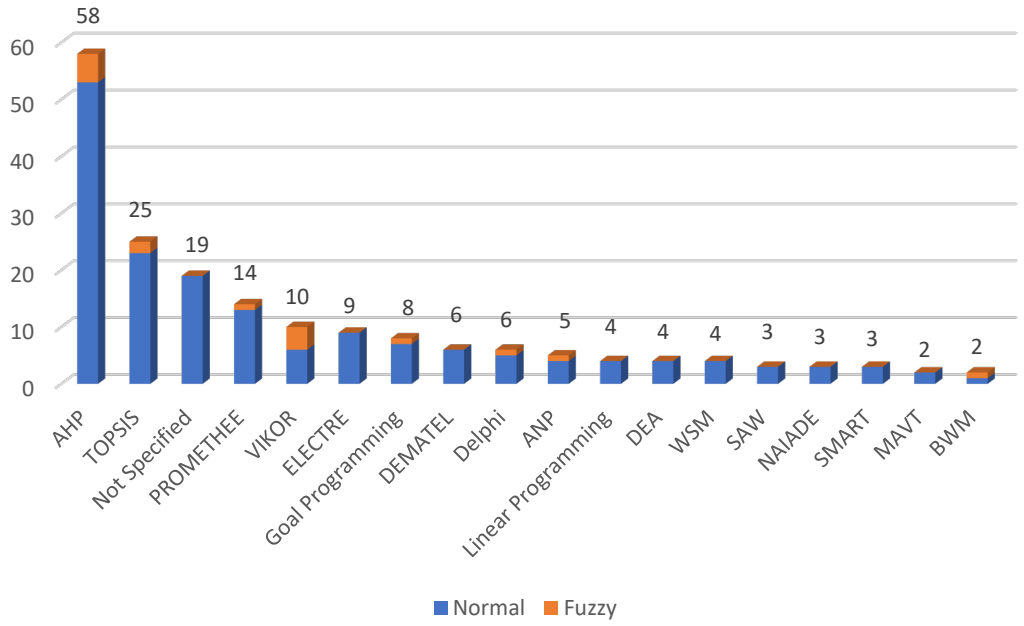
των προτιμήσεων μεταξύ των διαφόρων ομάδων προέλευσης συμμετεχόντων. Μέσω της έμφασης στον ευρύ χώρο της βιωσιμότητας, επιχειρούμε να δώσουμε ένα φάσμα πιθανών ζητημάτων που οι συμμετέχοντες θεωρούν σημαντικά, για να μπορέσουμε να οδηγήσουμε τις ασκήσεις μοντελοποίησης στη συνέχεια. Το πλαίσιο που εισάγεται εφαρμόζεται επίσης σε μια μεγάλης κλίμακας διαδικτυακή έρευνα για την προτεραιοποίηση ρηξικέλευθων καινοτομιών (game-changing innovations – GCI).

7.2 Η χρήση μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης σε σχέση με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης

Οι τεχνικές MCDA είναι ένα κυρίαρχο εργαλείο επιχειρησιακής έρευνας, με ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, έχουν βρεθεί να χρησιμοποιούνται με επιτυχία για την υποστήριξη των φορέων λήψης αποφάσεων σε προβλήματα βιωσιμότητας και κλιματικής πολιτικής (Doukas and Nikas, 2020). Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε το βαθμό στον οποίο τα MCDA έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση των SDGs αλλά και τη χαρτογράφηση των διαφορετικών ρόλων που διαδραματίζουν τα SDGs στην ανάλυση. Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση για τον εντοπισμό σχετικών επιστημονικών δημοσιεύσεων από το 2016, χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα δύο ερωτήματα στο Google Scholar:

- "multiple-criteria decision" +SDGs +"sustainable development goals"
- "multi-criteria decision" +SDGs +"sustainable development goals"

Αυτή η αναζήτηση οδήγησε σε ένα σύνολο από 164 άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά σχετικά με την εφαρμογή μοντέλων MCDA για την ανάλυση των SDGs. Κριτήρια ενσωμάτωσης στην ανασκόπηση σχετίζονταν στο να έχει γίνει ποσοτικοποιημένη χρήση κάποιας μεθόδου MCDA, και οι υπό μελέτη διαστάσεις να σχετίζονται είτε άμεσα είτε έμμεσα με διαστάσεις που χαρτογραφούνται σαφώς σε κάποιο (υπο-)δείκτη των SDG. Ένας πρώτος διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τη μέθοδο MCDA που χρησιμοποιείται (Εικόνα 7.1). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αρκετές μελέτες χρησιμοποίησαν περισσότερες από μία μεθόδους MCDA, καθώς και ότι η Εικόνα 7.1 παρουσιάζει μόνο τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν σε περισσότερες από μία μελέτες. Επιπλέον, ορισμένες μελέτες χρησιμοποίησαν μια μέθοδο που ανέπτυξαν, χωρίς να την κατονομάσουν (π.χ. Choi et al., 2020; Wu et al., 2020a).



Εικόνα 7.1. Ο αριθμός των εργασιών που χρησιμοποιούν κάθε μέθοδο MCDA με αποσύνθεση των μεθόδων που χρησιμοποιούν ασαφή λογική.

Η Εικόνα 7.1 δείχνει ότι η AHP είναι η κυρίαρχη μέθοδος, λόγω της ευελιξίας της να χρησιμοποιείται αυτόνομα ή σε συνδυασμό με άλλα πλαίσια όπως πχ για τον καθορισμό βαρών, ακολουθούμενη από την TOPSIS. Για παράδειγμα, οι Phonphoton και Pharino (2019) εξέτασαν εναλλακτικές λύσεις για το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων της Μπανγκόκ της Ταϊλάνδης, εστιάζοντας σε κριτήρια όπως η επισιτιστική ασφάλεια (SDG2), η ανθρώπινη υγεία (SDG3), οι υδάτινοι πόροι (SDG6) και ο αντίκτυπος στη βιοποικιλότητα (SDG15). Οι Ullah et al. (2018) διερεύνησαν τον αντίκτυπο τριών εναλλακτικών τύπων αερίων καυσίμων στον τομέα των μεταφορών του Πακιστάν, χρησιμοποιώντας κριτήρια διαμορφωμένα από τα SDG που αφορούν την ανθρώπινη ευημερία (SDG 3), την οικονομική ανάπτυξη (SDG 8) και τη δράση για το κλίμα (SDG 13). Σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους, η AHP εφαρμόζεται συχνά για τον υπολογισμό των συντελεστών στάθμισης κριτηρίων σε προβλήματα βιωσιμότητας (Neofytou et al., 2020), πριν τροφοδοτήσει τα αποτελέσματα σε άλλα πλαίσια που εκτελούν την τελική αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων. Μάλιστα, οι Guzmán-Sánchez et al. (2018) χρησιμοποίησαν την AHP με την TOPSIS, για να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο διαφόρων τύπων στέγης στη βιωσιμότητα του κτιριακού τομέα μέσω δεικτών στάθμισης AHP που συνδέονται άμεσα με επιμέρους στόχους διαφόρων SDGs (1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14 και 15).

Μια άλλη πληροφορία της Εικόνας 7.1 είναι ότι αρκετές μελέτες χρησιμοποίησαν ασαφείς μεθόδους MCDA. Για παράδειγμα, το 40% των μελετών της VIKOR χρησιμοποιούν την ασαφή έκδοση της μεθόδου, όπως οι Hameed et al. (2020) που χρησιμοποίησαν τη fuzzy-VIKOR για να εξετάσουν τον αντίκτυπο διαφόρων κινδύνων που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα συνδέοντας τους κινδύνους με τα SDG ως κριτήρια. Οι μεθοδολογίες ασαφούς λογικής διαπιστώνεται ότι είναι σημαντικές για τον χειρισμό της αβεβαιότητας (Linkov et al., 2006), η οποία αποτελεί βασική πτυχή των ασκήσεων που περιλαμβάνουν ενδιαφερόμενα μέρη. Ωστόσο, οι μέθοδοι MCDA μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε διαδικασίες εμπλοκής των ενδιαφερόμενων μερών χωρίς απαραίτητα να χρησιμοποιούν εκδόσεις ασαφούς λογικής (Huang et al., 2011). Ο Πίνακας 7.2 συνοψίζει τις βασικές μελέτες που περιλαμβάνουν τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών ως μέρος ενός εφαρμοζόμενου πλαισίου MCDA για την ανάλυση που σχετίζεται με SDGs. Παρόλο που πολλές μελέτες περιλαμβάνουν εμπειρογνώμονες στην ανάλυση, επισημαίνουμε εκείνους που κινητοποιούν τη γνώση που είναι ενσωματωμένη σε έναν σημαντικό αριθμό συμμετεχόντων, παρουσιάζοντας παράλληλα μια ποικιλομορφία στα μέσα εμπλοκής, τις περιοχές και τους τομείς.

Πίνακας 7.2. Μελέτες MCDA σχετικά με ή γύρω από τους SDG, συμπεριλαμβανομένης της συμμετοχής των ενδιαφερόμενων μερών

Μελέτη	Μέθοδος	Μέσα συμμετοχικότητας	Περιοχή	Τομέας
(Ahmed et al, 2020b)	Delphi, AHP, Fuzzy VIKOR	Ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια σε 12 συμμετέχοντες από βιομηχανίες, μηχανικούς χωροταξίας, περιβαλλοντολόγους και κυβερνητικούς αξιωματούχους	Πακιστάν	Επιλογή βιώσιμων και ειδικών οικονομικών ζωνών
(Balali and Valipour, 2020)	AHP	Συνεντεύξεις και ερωτηματολόγια με 144 εμπειρογνώμονες σε κτίρια	Shiraz (Ιράν)	Προσδιορισμός και ιεράρχηση των καταλληλότερων έξυπνων υλικών πρόσοψης κτιρίου σύμφωνα με τους SDG
(D'agata et al., 2020)	TOPSIS	666 έρευνες σε νοικοκυριά που εργάζονται στην αλιεία και 89 μέλη σχετικών κοινοτήτων	Μαδαγασκάρη, Κένυα	Κοινωνική προσαρμοστική ικανότητα των νοικοκυριών που

				στηρίζονται στην αλιεία
(Deshpande et al., 2020)	MAVT	31 απαντήσεις σε επιστημονική ημερίδα	Νορβηγία	Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής, της αποτέφρωσης και της ανακύκλωσης αποβλήτων αλιευτικών εργαλείων
(Hameed et al., 2020)	Fuzzy VIKOR	150 έρευνες με μηχανικούς, εμπειρογνώμονες βιομηχανίας και ακαδημαϊκούς σχετικά με τη χημική μηχανική και τη μηχανική υλικών	Πακιστάν	Αξιολόγηση περιβαλλοντικών κινδύνων
(Jamal et al., 2020)	AHP	Έρευνα με 71 ακαδημαϊκούς, εμπειρογνώμονες και συμβούλους	Αυστραλία	Σχεδιασμός μικροδικτύου και επιλογές συστήματος τροφοδοσίας εκτός δικτύου για μια απομακρυσμένη αγροτική περιοχή
(Zeug et al., 2020)	Mean averages	64 ενδιαφερόμενα μέρη (κοινωνία, επιχειρηματικές και επιστημονικές ομάδες)	Γερμανία	Συνάφεια των SDG με τη βιοοικονομία
(Lehner et al., 2018)	AHP	διαδικτυακά ερωτηματολόγια σε 83 εμπειρογνώμονες	Παγκόσμια	Δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης πόλεων, στο πλαίσιο του Διεθνούς Προτύπου ISO 37120

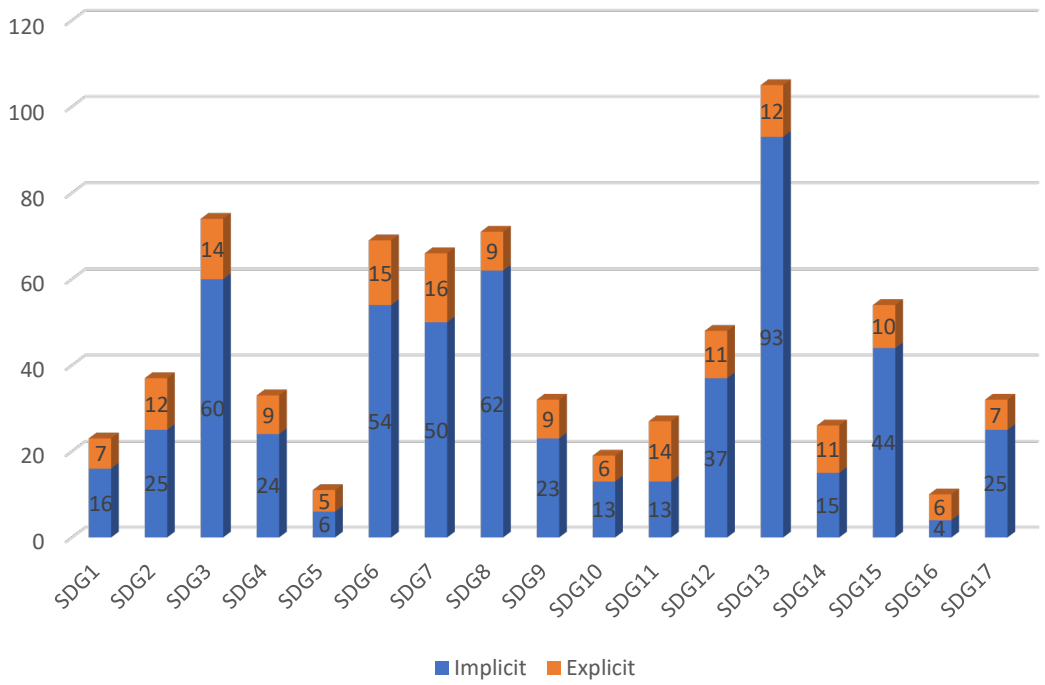
Εκτός από την ανασκόπηση των μεθόδων MCDA που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των SDG, είναι σημαντικό να διερευνηθεί το σημείο εντός της μεθοδολογίας στο οποίο ενσωματώθηκαν τα SDG σε κάθε μελέτη. Με βάση την ανασκόπηση προσδιορίζονται τρεις κατηγορίας με βάση τον τρόπο συμμετοχής των SDG:

1. Ως κριτήρια (τα SDG χρησιμοποιούνται είτε άμεσα ως κριτήρια είτε έμμεσα μέσω επιμέρους στόχων)

2. Ως ευρύτεροι τομείς εστίασης (τα SDG παρέχουν το πεδίο εφαρμογής, το πλαίσιο και/ή τα ερευνητικά ερωτήματα των μελετών)

3. Εναλλακτικές λύσεις (τα SDG αποτελούν ή σχετίζονται με τις επιλεγμένες εναλλακτικές επιλογές)

Αναμενόμενα, η πρώτη από αυτές τις κατηγορίες είναι η πιο κοινή, καθώς η πρόοδος στις διαστάσεις της βιωσιμότητας, που αναφέρεται ρητά μέσω των SDG ή εμμέσως παραπέμπει στα SDG, παρέχει μια χρήσιμη αξιολόγηση για εναλλακτικές στρατηγικές, τεχνολογίες, πολιτικές κ.λπ. (Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2. Αριθμός εργασιών που τα SDG συμμετέχουν ως κριτήρια σε MCDA αναλύσεις

Στην Εικόνα 7.2 παρουσιάζεται ότι τα SDG που χρησιμοποιούνται περισσότερο ως κριτήρια για τις μεθόδους MCDA είναι η δράση για το κλίμα (SDG13; αναμενόμενα δεδομένου του σκοπού της ανασκόπησης), η καλή υγεία και ευημερία (SDG3), η αξιοπρεπής εργασία και ανάπτυξη (SDG8), το καθαρό νερό (SDG6) και η πρόσβαση σε καθαρή και οικονομικά προσιτή ενέργεια (SDG7). Στις περισσότερες από αυτές τις μελέτες, τα SDG χρησιμοποιούνται έμμεσα για τη διαμόρφωση σχετικών κριτηρίων, υπογραμμίζοντας την τάση της βιβλιογραφίας του τομέα της βιωσιμότητας να επικεντρώνεται σε δείκτες όπως η μείωση των εκπομπών, οι επιπτώσεις στην υγεία και την οικονομία και η πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια και νερό, για την αξιολόγηση

των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Για παράδειγμα, οι Diemuodeke et al. (2019) χρησιμοποίησαν την TOPSIS για να αξιολογήσουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για υβριδικά ενεργειακά συστήματα στη Νιγηρία με βάση τις εκπομπές CO2 και το μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας, που και οι δύο μετρικές αποτελούν υπο-δείκτες σε σχετικά SDG (13.2.2 και 7.2.1, αντίστοιχα).

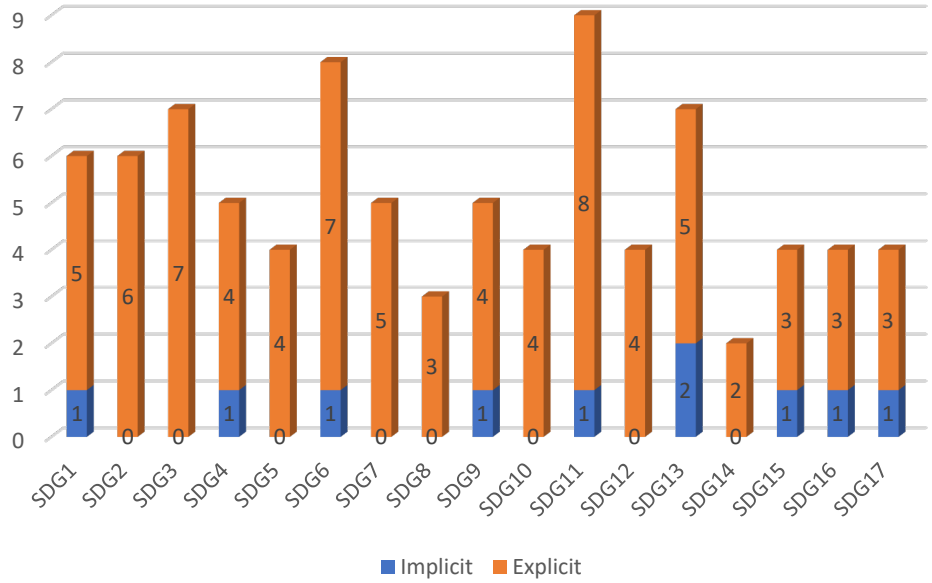
Όσον αφορά τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, περισσότερες από 100 μελέτες χρησιμοποίησαν το SDG13 ως άμεσο ή έμμεσο κριτήριο στην ανάλυσή τους. Ο Πίνακας 7.3 παρουσιάζει ορισμένες από αυτές τις μελέτες που βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα περιοχών και τομέων βιωσιμότητας και ενσωματώνουν το SDG13 ονομαστικά. Από την άλλη, δεδομένου ότι οι περισσότερες μελέτες MCDA επικεντρώνονται στην επιλογή τεχνολογικών ή πολιτικών εναλλακτικών λύσεων, κοινωνικά ζητήματα όπως οι ανισότητες και η ειρήνη φαίνεται να εξετάζονται σπάνια. Ειδικότερα, τα SDG5 (Ισότητα των φύλων), 10 (Μειωμένες ανισότητες) και 16 (Ειρήνη, αδικία και ισχυροί θεσμοί) αξιολογούνται λιγότερο από όλα τα υπόλοιπα με σημαντική διαφορά.

Πίνακας 7.3. Μελέτες MCDA σχετικά με τα SDG με ονομαστική έμφαση στη δράση για το κλίμα

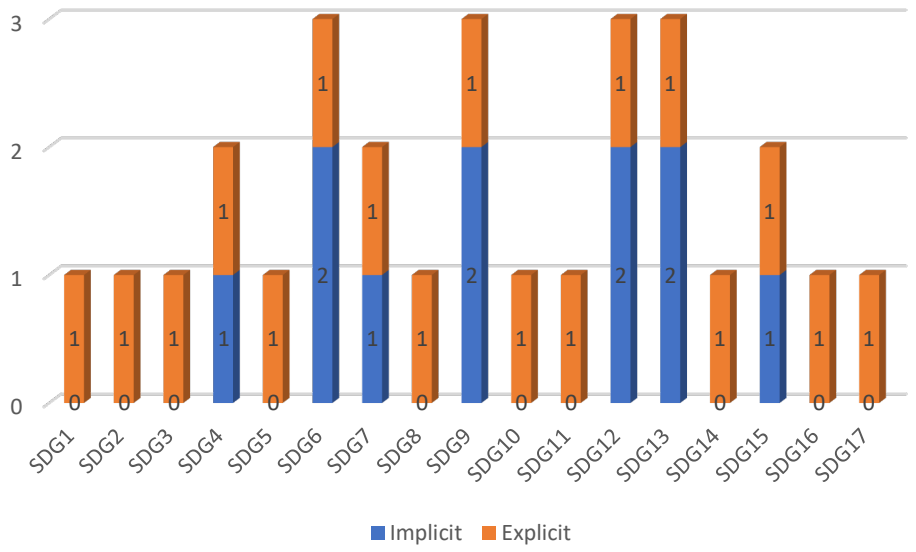
Μελέτη	Μέθοδος	Περιοχή	Τομέας
(Ahmed et al., 2020a)	Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR	Πακιστάν	Επανεξέταση των στόχων της εθνικής πολιτικής για το κλίμα
(Ahmed and Mishra, 2020)	AHP	Μικρά νησιωτικά αναπτυσσόμενα κράτη	Προκλήσεις που σχετίζονται με το νερό
(Hassan et al., 2019)	MCDA	Πακιστάν	Ενεργειακή και περιβαλλοντική ασφάλεια
(Shem et al., 2019)	Weighted Sum Method	Βιετνάμ	Αξιολόγηση χαρτοφυλακίου πολιτικής για την απανθρακοποίηση
(Sanneh, 2018)	Fuzzy AHP	Υποσαχάρια Αφρική (με έμφαση στη Γκάνα και τη Σενεγάλη)	Ιεράρχηση των μέτρων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή

(Soni et al., 2017a)	Fuzzy PROMETHEE	Ινδία (στο πλαίσιο του στρατηγικού διαλόγου Ινδίας-ΕΕ)	Διείσδυση των ΤΠΕ και αποτελεσματικότητα της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης σε πολλαπλούς τομείς

Λιγότερες μελέτες MCDA επικεντρώνονται στα SDG ως τομέα εστίασής τους, αντί για κριτήρια (Εικόνα 7.3), εστιάζοντας ρητά σε συγκεκριμένους στόχους. Για παράδειγμα, οι Budiman et al. (2017) αξιολόγησαν διάφορα προγράμματα ανακούφισης της φτώχειας στην Ινδονησία και προσδιόρισαν επιλέξιμους πολίτες για να εξετάσουν τον αντίκτυπο κάθε προγράμματος στην εκπλήρωση των στόχων του SDG1 (καταπολέμησης της φτώχεια), χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μεθόδων. Ομοίως, οι Diaz-Sarachaga et al. (2017) πρότειναν ένα νέο πλαίσιο αξιολόγησης για τις επενδύσεις σε υποδομές στις αναπτυσσόμενες χώρες, το οποίο αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα του SDG9 (Βιομηχανία, Καινοτομία και Υποδομές). Ακόμα πιο λίγες ωστόσο είναι οι μελέτες MCDA εξέτασαν τους SDG ως εναλλακτικές λύσεις (Εικόνα 7.4).



Εικόνα 7.3. Αριθμός μελετών MCDA που εξετάζουν τα SDG ως τομέα εστίασης



Εικόνα 7.4. Αριθμός μελετών MCDA που αξιολογούν τα SDG ως εναλλακτικές

Μία από τις πιο άμεσες προσπάθειες αντιμετώπισης των SDG ως εναλλακτικών λύσεων πραγματοποιήθηκε από τους Zeug et al. (2020), οι οποίοι προσπάθησαν να ιεραρχήσουν τα SDG με βάση τη συνάφεια των αντίστοιχων επιμέρους στόχων με τη βιοοικονομία. Η κατάταξη προέκυψε από τη συγκέντρωση των αξιολογήσεων των διαφόρων ενδιαφερόμενων μερών με βάση τις μέσες τιμές. Οι Rampasso et al. (2019) εξέτασαν την εκπαίδευση της Βραζιλίας και την εισαγωγή της βιωσιμότητας στα προγράμματα σπουδών μηχανικής επιστήμης, τα οποία μπορούν να συνδεθούν με τον στόχο SDG 4.7, με στόχο την παροχή σχετικής εκπαίδευσης σε κάθε άτομο, όπου χρησιμοποιώντας το TOPSIS, αξιολόγησαν δέκα προκλήσεις για την εισαγωγή της βιωσιμότητας στα προγράμματα σπουδών μηχανικής. Οι Gupta and Singh (2020) εισήγαγαν την μέθοδο GTMA ως πλαίσιο για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των παρόχων υπηρεσιών logistics στην Ινδία. Τέλος, οι D'Alpaos και Andreolli (2020) πραγματοποίησαν βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την αξιολόγηση της αστικής ποιότητας για και τη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος, όπου πτυχές σχετικές με τους SDG αποτέλεσαν μέρος των εναλλακτικών λύσεων και την πρόοδο στις οποίες αξιολόγησαν με AHP σε κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια.

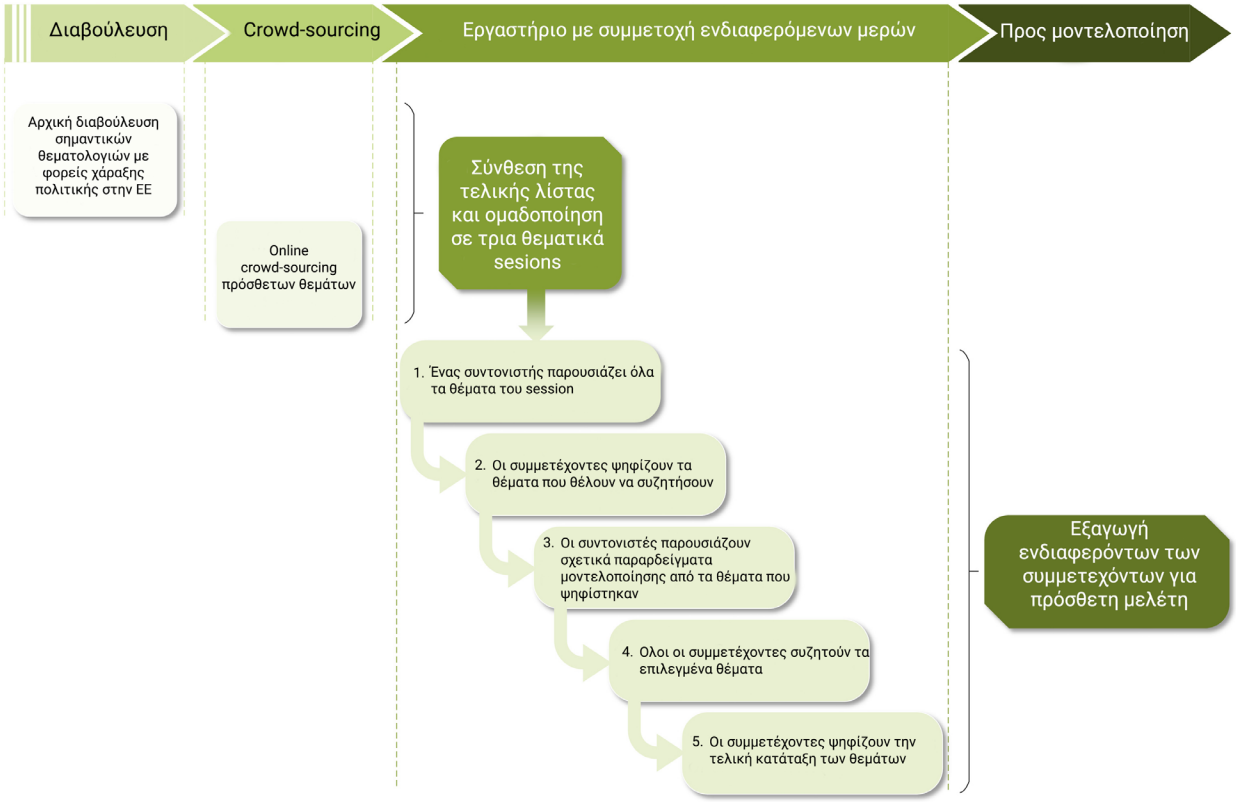
Είναι σαφές ότι υπάρχει ένα κενό σε επίπεδο ασκήσεων MCDA γύρω από τη βιωσιμότητα και τους στόχους SDG, οι οποίοι μέχρι στιγμής δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικές ώστε οι συμμετέχοντες να εκφράσουν τις προτεραιότητες τους, και οι οποίες θα μπορούσαν εν δυνάμει να καθοδηγήσουν ασκήσεις μοντελοποίησης.

7.3 Εργαστήριο (Workshop) με τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών

Το εργαστήριο (workshop) με τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του «1st PARIS REINFORCE Stakeholder Council Dialogue workshop», με τίτλο «Enhancing climate policy through co-creation», το οποίο πραγματοποιήθηκε στις 21 Νοεμβρίου 2019, στις εγκαταστάσεις του Bruegel, στις Βρυξέλλες, Βέλγιο. Αποτέλεσε μια πανευρωπαϊκή πρωτοβουλία για τη συνδιαμόρφωση της έρευνας στον τομέα της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής στην Ευρώπη, αντλώντας από τα αποτελέσματα μια εξαντλητικής διαβούλευσης που διήρκησε πέντε μήνες, και κατά την οποία ζητήθηκε από υπεύθυνους χάραξης πολιτικής υψηλού επιπέδου να αναδείξουν θεματολογίες που θα τους ενδιέφεραν να ερευνηθούν περισσότερο. Η διαβούλευση, μαζί με μια ανοιχτή διαδικασία crowd-sourcing που πραγματοποιήθηκε μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας ψηφοφορίας 24 ώρες πριν από την εκδήλωση, κατέληξε σε μια λίστα 22 θεμάτων, τα οποία χωρίστηκαν σε 3 θεματικές ομάδες. 57 άτομα παρακολούθησαν το εργαστήριο με φυσική παρουσία, αν και η εκδήλωση μεταδόθηκε επίσης ζωντανά για να επιτρέψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και διαφοροποιημένο κοινό, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται υψηλόβαθμα στελέχη των Γενικών Διευθύνσεων (ΓΔ) ενέργειας, κλίματος και έρευνας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, υπουργείων και κυβερνητικών φορέων σχετικών με το κλίμα από κράτη μέλη της ΕΕ, διεθνών οργανισμών, εκπροσώπων επιχειρήσεων και επιστημόνων.

Κατά τη διάρκεια των πρωινών συνεδριάσεων, διανεμήθηκε, παρουσιάστηκε και συζητήθηκε με τα ενδιαφερόμενα μέρη μια λεπτομερής σύνοψη σχετικά με το στόχο (Ackerman et al., 2009) και το τι μπορούν και τι δεν μπορούν να κάνουν τα μοντέλα κλίματος-οικονομίας (Nikas et al., 2021). Η απογευματινή διαβούλευση χωρίστηκε σε τρεις συνεδρίες, με βάση τις 3 θεματικές ομάδες των 22 θεμάτων. Κατά τη διάρκεια κάθε συνεδρίας, ένας συντονιστής αφιέρωσε 10 λεπτά εξηγώντας πιθανές ερευνητικές περιοχές στο κοινό, επιτρέποντας στη συνέχεια στους συμμετέχοντες να ψηφίσουν (μέσω sli.do) και να δώσουν προτεραιότητα σε ποιες ερωτήσεις θα τους ενδιέφεραν να εμβαθύνουν περισσότερο στις συζητήσεις. Δεδομένου του εύρους των προτεινόμενων ερωτήσεων, η διαδικασία αυτή ήταν σημαντική για να καταστεί δυνατή η διεξαγωγή συζητήσεων σχετικά με τα σημαντικότερα θέματα για τα ενδιαφερόμενα μέρη. Μετά την επιλογή των θεμάτων που υπερψηφίστηκαν, ο λόγος ήταν ανοιχτός για συζήτηση μεταξύ των ερευνητών και του ακροατηρίου, όπου οι ενδιαφερόμενοι ήταν σε θέση να θέσουν τυχόν σημεία ή ερωτήσεις που είχαν σχετικά με τους προτεινόμενους ερευνητικούς τομείς. Μετά τη συζήτηση, πραγματοποιήθηκε εκ νέου μια ψηφοφορία στο sli.do που επέτρεψε και πάλι στους

ενδιαφερόμενους να ψηφίσουν ανάλογα με το πόσο σημαντικό θεωρούν για το έργο να παρακολουθήσει και να διεξάγει έρευνα σε κάθε θέμα. Η διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 7.5.



Εικόνα 7.5. Διαδικασία εμπλοκής των ενδιαφερόμενων μερών και συνδιαμόρφωσης σεναρίων και ερευνητικών ερωτημάτων

Κατά τη διάρκεια της πρώτης θεματικής ενότητας («παγκόσμια απειλή, παγκόσμιες οδοί»), μεταξύ των θεμάτων που παρουσιάστηκαν, τα ενδιαφερόμενα μέρη επέλεξαν να συζητήσουν τις αλλαγές συμπεριφοράς και την πιθανή αποτυχία βασικών τεχνολογιών μαζί με ρηξικέλευθες καινοτομίες. Μετά από μια λεπτομερή συζήτηση, τα θέματα που επιλέχθηκαν ως προτεραιότητες για τη διεξαγωγή έρευνας περιελάμβαναν τα τρία αυτά θέματα μαζί με μια ρεαλιστική περιγραφή του πού κατευθυνόμαστε στα πλαίσια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγές, δεδομένων των υφιστάμενων συλλογικών πολιτικών και δεσμεύσεων. Στη δεύτερη συνεδρία («μια Ευρώπη συνεπής με το Παρίσι»), παρά την αναμενόμενη ποικιλομορφία των προτιμήσεων μεταξύ των ομάδων ενδιαφερομένων, ακαδημαϊκοί και μη ακαδημαϊκοί τόνισαν ερωτήματα που περιστρέφονται γύρω από την ηλεκτροκίνηση και το υδρογόνο. Στην τελική συνεδρία («βιώσιμη δράση για το κλίμα»), αν και οι επιστήμονες ενδιαφέρθηκαν κυρίως για τη

μείωση των τομέων υψηλής έντασης άνθρακα, οι μη ακαδημαϊκοί ενδιαφερόμενοι ψήφισαν θέματα προσανατολισμένα σε διατομεακές επιπτώσεις που περιστρέφονται γύρω από την απασχόληση και τις επενδύσεις.

Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι, η προοπτική κατανόησης και ρεαλιστικής ποσοτικοποίησης του πού οδεύει ο κόσμος και η Ευρώπη δεδομένων των υφιστάμενων συλλογικών πολιτικών και δεσμεύσεων δεν επιλέχθηκε για συζήτηση κατά τη διάρκεια της πρώτης ψηφοφορίας. Ωστόσο αναδείχθηκε στην πορεία της συζήτησης υποδεικνύοντας ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη κατανόησαν το σκεπτικό και τα κίνητρα πίσω από ένα τέτοιο ερώτημα μέσα από τη συζήτηση, με αποτέλεσμα στη συνέχεια να δοθεί ως ερευνητική προτεραιότητα για ασκήσεις μοντελοποίησης. Πρόσθετα θέματα που υπερψηφίστηκαν στο πλαίσιο του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και της μοντελοποίησης πολιτικής αφορούσαν, μεταξύ άλλων, τον ρόλο των ρηξικέλευθων καινοτομιών, τις επιπτώσεις στην απασχόληση και τον ρόλο των αλλαγών συμπεριφοράς και τρόπου ζωής.

Οι παραπάνω προτεραιότητες, συνοδευόμενες από τις πρόσθετες πληροφορίες που αναδεικνύονται στα πλαίσια της Ενότητας ΙΙΙ αποτελούν κινητήριο δύναμη για την παρούσα διατριβή, στοιχειοθετώντας μαζί με τις κοινωνικο-τεχνικές αναλύσεις, τις θεματολογίες και μεθοδολογικές προσεγγίσεις των αναλύσεων με χρήση μοντέλων.

7.4 Ανάγκη ανάλυσης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης από τη σκοπιά των ειδικών

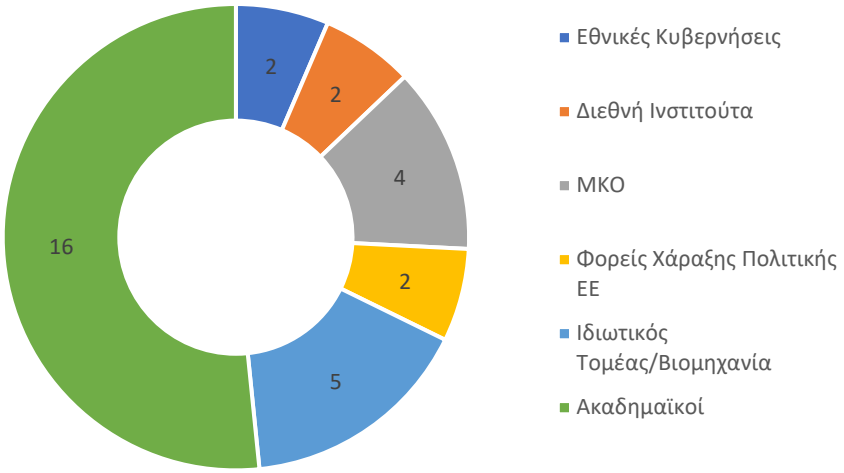
7.4.1 Πλαίσιο: Συνεδρία για τα SDG, εναλλακτικές λύσεις και κριτήρια

Ακολουθώντας τις παραπάνω διαδικασίες διαβούλευσης, πραγματοποιείται μια συνεδρία βασισμένη στα SDG, με σκοπό να πραγματοποιήσουμε μια πολυκριτήρια ανάλυση με βάση την αξιολόγηση των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με τη διασύνδεση και τοποθέτηση της δράσης για το κλίμα στο ευρύτερο φάσμα της βιώσιμης ανάπτυξης. Τα ενδιαφερόμενα μέρη κλήθηκαν να συμβάλουν στην απάντηση στο ερευνητικό ερώτημα: «Πόσο επείγον είναι να αξιολογηθεί κάθε SDG στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής και τους στόχους της συμφωνίας του Παρισιού;». Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα δύναται να αναδείξει ευρύτερα ζητήματα και προτεραιότητες που πρέπει να λαμβάνει υπόψη η διαδικασία μοντελοποίησης

Για την επίτευξη του στόχου της μελέτης, χρησιμοποιείται η μέθοδος 2-tuple Group TOPSIS, σε συνδυασμό με μια τεχνική μέτρησης της ομοφωνίας για την αύξηση της ευρωστίας του

αποτελέσματος και την κατανόηση της δυναμικής μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών εμπλεκόμενων ενδιαφερομένων.

Κατά τη διάρκεια της συνεδρίας που αφορούσε τα SDG, 31 συμμετέχοντες από διαφορετικά υπόβαθρα (Εικόνα 7.6) κλήθηκαν να αξιολογήσουν τους SDGs με βάση ένα σύνολο προκαθορισμένων κριτηρίων, χρησιμοποιώντας τη διαδικτυακή πλατφόρμα δημοσκοπήσεων sli.do που χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.



Εικόνα 7.6. Κατανομή των ομάδων ενδιαφερομένων με βάση το επαγγελματικό τους υπόβαθρο.

Τα SDGs τοποθετούνται ως εναλλακτικές λύσεις της ανάλυσης, όπου όμως αποκλείουμε αξιωματικά το SDG13 από την ανάλυση, αφού αναζητούμε πρόσθετα SDGs και τη σημασία της διασύνδεσης τους με τη δράση για το κλίμα, ενώ το SDG17, που σχετίζεται με τις παγκόσμιες εταιρικές σχέσεις και τη συνεργασία, εξαιρείται επίσης από την ανάλυση, καθώς δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής των μοντέλων (Krey et al., 2019).

Τα ενδιαφερόμενα μέρη κλήθηκαν να αξιολογήσουν κάθε SDG με βάση τρία κριτήρια: τη γενικότερη σημασία, τη συνάφεια με την κλιματική αλλαγή και την μέχρι τώρα πρόοδο που έχει επιτευχθεί. Αυτά επιλέχθηκαν ώστε να διαμορφώνεται μια συνεπής οικογένεια κριτηρίων που προσπαθούν να συλλάβουν την ευρύτερη άποψη των εμπειρογνωμόνων. Συγκεκριμένα, το κριτήριο της «σημασίας» στοχεύει στην αποτύπωση μιας ευρείας αντίληψης της σημασίας της εκπλήρωσης των στόχων κάθε SDG στην κοινωνία. Η συνάφεια με την κλιματική αλλαγή επικεντρώνεται περισσότερο στις διασυνδέσεις μεταξύ SDG και της κλιματικής αλλαγής,

αντικατοπτρίζοντας κατά πόσον ένα SDG θα πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με τους κλιματικούς στόχους. Τέλος, η τάση προόδου στοχεύει στην καταγραφή των γνώσεων και της αντίληψης των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με τις βελτιώσεις που έχουν γίνει μέχρι στιγμής προς την επίτευξη κάθε SDG. Οι λεπτομέρειες σχετικά με τη διατύπωση του προβλήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4. Εναλλακτικές λύσεις, κριτήρια αξιολόγησης και ερωτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε)

Alternatives	Evaluation Criteria
SDG 1: No Poverty	C1. Importance
SDG 2: Zero Hunger	*How important do you find this SDG is to address?*
SDG 3: Good Health and Well-Being	{very low, low, moderate, high, very high importance}
SDG 4: Quality Education	
SDG 5: Gender Equality	
SDG 6: Clean Water and Sanitation	C2. Relevance
SDG 7: Affordable and Clean Energy	*How relevant to climate action do you think this SDG is?*
SDG 8: Decent Work and Economic Growth	
SDG 9: Industry, Innovation and Infrastructure	{very low, low, moderate, high, very high relevance}
SDG 10: Reduced Inequalities	
SDG 11: Sustainable Cities and Communities	
SDG 12: Responsible Consumption and Production	C3. Trend of Progress
SDG 14: Life Below Water	*How do you perceive the trend of progress in meeting the sub-goals of this SDG so far?*
SDG 15: Life on Land	
SDG 16: Peace, Justice and Strong Institutions	{very low, low, moderate, high, very high progress}

Λόγω του συμπληρωματικού χαρακτήρα των κριτηρίων, η κατάταξη που θα προκύψει αναμένεται να αντικατοπτρίζει, από τη σκοπιά των ενδιαφερόμενων μερών, την επείγουσα ανάγκη περαιτέρω μελέτης της ενσωμάτωσης κάθε SDG στις δραστηριότητες μοντελοποίησης με βάση τρία βασικά ερωτήματα: πόσο σημαντικό είναι ένα SDG, πόσο σχετικό είναι με την κλιματική αλλαγή και ποια είναι η πρόοδος μέχρι στιγμής. Σύμφωνα με το ερευνητικό ερώτημα και για να εκφράσουμε καλύτερα τον επείγοντα χαρακτήρα, προσαρμόζουμε το τελευταίο κριτήριο για να εκφράσουμε την έλλειψη προόδου. Σε αυτή την περίπτωση, ένα SDG λαμβάνει την υψηλότερη κατάταξη και ως εκ τούτου την προτεραιότητα

με βάση τους συμμετέχοντες ώστε να μελετηθεί, όταν αξιολογείται ως σημαντικό, σχετικό με την κλιματική αλλαγή αλλά ταυτόχρονα υπάρχει και περιορισμένη πρόοδος στην επίτευξη των καθορισμένων στόχων.

7.4.2 Η μέθοδος ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple Group TOPSIS

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στα επόμενα τμήματα εφαρμόζεται εντός του μοντέλου APOLLO (Labella et al., 2020; Koasidis et al., 2021) ειδικού να διαχειρίζεται μεθοδολογίες MCDA με γλωσσικές κλίμακες.

Το μοντέλο των 2-tuple

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε μια καθολική κλίμακα 5 όρων { very low, low, medium, high, very high}. Αυτοί οι όροι είναι πιο κοντά στη φυσική γλώσσα των συμμετεχόντων συμπεριλαμβανομένων σε προβλήματα λήψης αποφάσεων βιωσιμότητας (Doukas et al., 2010), γεγονός που αυξάνει την κατανόηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης από την πλευρά τους. Για την πλήρη αξιοποίηση των γλωσσικών όρων, χρησιμοποιείται το μοντέλο 2-tuple (Herrera and Martinez, 2000; Martinez και Herrera, 2012), το οποίο αποτελείται από μια γλωσσική αναπαράσταση 2-tuple (s, a), όπου s είναι ένας γλωσσικός όρος και a είναι μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει μια συμβολική αναπαράσταση για την αύξηση της ακρίβειας χωρίς να περιπλέκει υπερβολικά την ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος.

Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών όρων και έστω $\beta \in [0, g]$ το αποτέλεσμα μιας συμβολικής πράξης, όπου $g + 1$ είναι η πληθικότητα του S. Έστω $i = round(\beta)$ και $\alpha = \beta - i$ δύο τιμές έτσι ώστε $i\epsilon[-0.5,0,5)$, τότε το α ονομάζεται συμβολική αναπαράσταση. Η συμβολική αναπαράσταση ενός γλωσσικού όρου s_i είναι μια αριθμητική τιμή εντός του συνόλου $[-0.5,0,5)$ που είναι ενδεικτική της διαφοράς μεταξύ της υπολογιζόμενης τιμής $\beta \in [0, g]$, και του πλησιέστερου στοιχείου εντός του συνόλου $\{s_0, \dots, s_g\}$ που είναι ενδεικτικό του περιεχομένου του πλησιέστερου γλωσσικού όρου S $(i = round(\beta))$.

Στην ουσία, το μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης 2-tuple επεκτείνει τη χρήση ευρετηρίων που τροποποιούν την ασαφή λογική, προσθέτοντας μια συμβολική αναπαράσταση που αντιπροσωπεύει τη γλωσσική πληροφορία μέσω ενός γλωσσικού 2-tuple.

$$a = \begin{cases} [-0.5, 0.5), if\, s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_{g-1}\} \\ [0, 0.5), if\ s_i = s_0 \\ [-0.5, 0), if\ s_i = s_g \end{cases}$$

Τέλος, για ένα σύνολο γλωσσικών όρων $S = \{S_0, \dots, s_g\}$ και μια τιμή που υποστηρίζει το αποτέλεσμα μιας συμβολικής πράξης συνάθροισης $\beta\epsilon\,[0, g]$, υπολογίζεται το 2-tuple που εκφράζει την ισοδύναμη πληροφορία β ως:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times (-0.5, 0.5)$$

$$\Delta\,(\beta) = (s_i, \alpha), with \begin{cases} s_i\; i = round\,(\beta) \\ \alpha = \beta - i\;\alpha\epsilon[-0.5, 0{,}5) \end{cases}$$

Προφανώς, η μετατροπή ενός γλωσσικού όρου σε 2-tuple συνίσταται στην προσθήκη μιας τιμής 0 ως συμβολική αναπαράσταση: $s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0)$

<u>Το μοντέλο 2-tuple Group TOPSIS</u>

Ως μια μεθοδολογία πολυκριτήριας ανάλυσης που πραγματοποιεί κατάταξη υπολογίζοντας την απόσταση μιας εναλλακτικής λύσης από μια ιδεατή και μια αντι-ιδεατή λύση, η TOPSIS (Yoon and Hwang, 1981) αποδίδει σημαντικά καλά σε ασαφή συστήματα, μέσω μιας ευρείας ποικιλίας από τροποποιημένες μεθοδολογίες που βασίζονται στην επέκταση της Fuzzy TOPSIS (Chen et al. 2006). Χρησιμοποιείται συχνά στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική για τη διαχείριση της αβεβαιότητας σε σχετικά προβλήματα λήψης αποφάσεων (Doukas and Nikas, 2020). Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιείται η 2-tuple Group TOPSIS, συνδυάζοντας την αρχική μέθοδο TOPSIS με το μοντέλο 2-tuple σε ένα πλαίσιο ομαδικής λήψης αποφάσεων. Μία από τις πρώτες εφαρμογές συνδυασμού μεταξύ 2-tuple και TOPSIS πραγματοποιήθηκε από τους Doukas et al. (2010) για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων ΑΠΕ στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε επίσης αργότερα για την αξιολόγηση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών πολιτικών μικρομεσαίων επιχειρήσεων (Doukas et al., 2014), όπου από μεθοδολογική σκοπιά τα 2-tuple στην είσοδο και την έξοδο χωρίς να επηρεάζονται οι εσωτερικοί υπολογισμοί της TOPSIS. Εκδοχή του μοντέλου 2-tuple TOPSIS με τις γλωσσικές μεταβλητές να αποτελούν μέρος των υπολογισμών εισήχθη επίσημα από τον Wei (2010), όπου η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε ένα επενδυτικό πρόβλημα με πολλούς εμπειρογνώμονες, με τη μεθοδολογία ωστόσο να παρουσιάζει απώλεια της γλωσσικής πληροφορίας. Για να αντιμετωπίσουν την απώλεια της γλωσσικής ερμηνείας, οι Sohaib et al. (2019) εισήγαγαν μια συνάρτηση απόστασης στον υπολογισμό της 2-tuple TOPSIS θέτοντας διαφορετικά γλωσσικά πεδία ορισμού για την αξιολόγηση των προτιμήσεων, των βαρών και των τελικών αποτελεσμάτων (στην περίπτωση τους αποστάσεων). Το επιχείρημα αυτής της προσέγγισης ήταν ότι η αλλαγή αυτή στα σύνολα είναι απαραίτητη για την αποφυγή της

απώλειας της γλωσσικής ερμηνείας. Ωστόσο, σε προβλήματα λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνουν τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών και μάλιστα που περιλαμβάνουν διαδικασίες ανατροφοδότησης, η χρήση τριών διαφορετικών γλωσσικών συνόλων μπορεί να είναι τεχνικά ορθή από την άποψη της μοντελοποίησης, αλλά δημιουργεί δυσκολίες στα ενδιαφερόμενα μέρη να κατανοήσουν τα τελικά αποτελέσματα, επηρεάζοντας έτσι την ικανότητά τους να τα μεταφράσουν σε πραγματική δράση. Αν και η προσθήκη της συνάρτησης απόστασης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διάκριση μεταξύ της ερμηνείας των αρχικών προτιμήσεων και των τελικών αποστάσεων, ο καθορισμός αυστηρά διαφορετικών συνόλων για την αξιολόγησή τους δεν είναι απαραίτητος, εφόσον η συνάρτηση απόστασης χρησιμοποιείται με ακρίβεια. Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθούμε τη μεθοδολογία που εισήγαγαν οι Sohaib et al. (2019), τροποποιώντας και απλοποιώντας τη συνάρτηση απόστασης, ώστε να χρησιμοποιείται ο ίδιος γενικός όρος 5-βάθμιας κλίμακας τόσο για τις προτιμήσεις όσο και για τον υπολογισμό των αποστάσεων. Η κατανόηση ότι οι όροι στις δύο κλίμακες μπορεί να είναι οι ίδιοι, αλλά χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν διαφορετικές μεταβλητές, επέτρεψε τη χαρτογράφηση κάθε τιμής σε ένα καθολικό πεδίο χωρίς να διαταραχθεί η γλωσσική ερμηνευσιμότητα. Ταυτόχρονα, εξ' ορισμού στην αξιολόγηση των προτιμήσεων οι αποφασίζοντες χρησιμοποιούν υποσυνείδητα τη λογική των αποστάσεων (βαθμολογούν συγκριτικά), το οποίο θεωρείται ένα συχνό επιχείρημα υπέρ της TOPSIS, ότι δηλαδή βρίσκεται κοντά στη λογική των συμμετεχόντων. Υποστηρίζουμε ότι η προσέγγιση που χρησιμοποιείται εδώ στους είναι καταλληλότερη για προβλήματα κλιματικής πολιτικής με τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, ώστε να μπορούν να συγκρίνουν τα αποτελέσματα στις τιμές με τις οποίες παρείχαν τις αρχικές τους απόψεις. Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι τα εξής:

(i) Ορίζουμε ένα διάνυσμα βαρών $U_t = (u_j^t)_{1*n}^T$, όπου $u_j^t \in U$ είναι η γλωσσική προτίμηση (βάρη) του συμμετέχοντα e_t στο κριτήριο c_j και U ένα σύνολο γλωσσικών όρων, με το $U = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ να μετατρέπεται σε έναν γλωσσικό 2-tuple διάνυσμα βαρών $U_t = (u_j^t, 0)_{1*n}^T$.

(ii) Υπολογίζουμε τον κανονικοποιημένο πίνακα βαρών 2-tuple $U_t^N = (\bar{u}_j^t, \bar{\beta}_j^t)_{1*n}^T$ για κάθε συμμετέχοντα e_t ως $(\bar{u}_j^t, \bar{\beta}_j^t) = \Delta_u\left(\frac{\Delta_u^{-1}(u_j^t, 0)}{T_U - 1}\right), j = 1,2, \dots, n$ και T_U είναι η πληθικότητα του συνόλου U.

(iii) Ορίζουμε τον πίνακα απόφασης $X_t = (r_{ij}^t)_{m*n}$, όπου $(r_{ij}^t) \in S$ είναι η τιμή της γλωσσικής προτίμησης που παρείχε ο συμμετέχοντας e_t για την εναλλακτική a_i στο κριτήριο c_j, και S

σύνολο γλωσσικών όρων, όπου $S = \{s_1, s_2, \dots, s_t\}$ μετατρέπεται σε έναν γλωσσικό 2-tuple πίνακα απόφασης $X_t = \left(r_{ij}^t, 0\right)_{m*n}$.

(iv) Υπολογίζουμε το σταθμισμένο πίνακα απόφασης $\bar{X}_t = \left(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t\right)_{m*n}$ για κάθε συμμετέχοντα e_t, ως $\left(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t\right) = \Delta_S\left(\Delta_u^{-1}(\bar{u}_j^t, \bar{\beta}_j^t).\Delta_S^{-1}\left(r_{ij}^t, 0\right)\right), i = 1,2, \dots, m, j = 1,2, \dots, n$.

(v) Υπολογίζουμε την ιδεατή και την αντι-ιδεατή λύση για κάθε συμμετέχοντα e_t ως: $(r^{t,+}, \alpha^{t,+}) = \{\left(r_1^{t,+}, \alpha_1^{t,+}\right), \left(r_2^{t,+}, \alpha_2^{t,+}\right), \dots, \left(r_n^{t,+}, \alpha_n^{t,+}\right)\}$ και $(r^{t,-}, \alpha^{t,-}) = \{\left(r_1^{t,-}, \alpha_1^{t,-}\right), \left(r_2^{t,-}, \alpha_2^{t,-}\right), \dots, \left(r_n^{t,-}, \alpha_n^{t,-}\right)\}$, όπου $\left(r_j^{t,+}, \alpha_j^{t,+}\right) = \max_i\{(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t) \,|c_j \in B\}\ or \min_i\{(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t) \,|c_j \in B'\}$ και $\left(r_j^{t,-}, \alpha_j^{t,-}\right) = \min_i\{(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t) \,|c_j \in B\}\ or \max_i\{(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t) \,|c_j \in B'\}$, όπου $i = 1,2, \dots, m, j = 1,2, \dots, n$ με B και B' το σύνολο των κριτηρίων που είναι οφέλους και κόστους αντίστοιχα.

(vi) Καθορίζουμε την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδεατή και την αντι-ιδεατή λύση για κάθε συμμετέχοντα e_t ως: $\left(\xi_i^{t,+}, \eta_i^{t,+}\right) = \Delta_{S'}\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{(T_{S'}-1)}{(T_S-1)} \cdot \left(|\Delta_S^{-1}\left(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t\right) - \Delta_S^{-1}\left(r_j^{t,+}, \alpha_j^{t,+}\right)|\right)\right)$ και $\left(\xi_i^{t,-}, \eta_i^{t,-}\right) = \Delta_{S'}\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{(T_{S'}-1)}{(T_S-1)} \cdot \left(|\Delta_S^{-1}\left(\bar{r}_{ij}^t, \bar{a}_{ij}^t\right) - \Delta_S^{-1}\left(r_j^{t,-}, \alpha_j^{t,-}\right)|\right)\right)$, όπου $S' = \{s_1', s_2', \dots, s_{t'}\}$ είναι το σύνολο γλωσσικών όρων για τις αποστάσεις, T_S και $T_{S'}$ οι πληθικότητες των συνόλων S and S' αντίστοιχα.

(vii) Υπολογίζουμε τη σχετική απόσταση κάθε εναλλακτικής για κάθε συμμετέχοντα e_t ως: $\left(\xi_i^t, \eta_i^t\right) = \Delta_{S'}\left(\left(\frac{\Delta_{S'}^{-1}(\xi_i^{t,-}, \eta_i^{t,-})}{\Delta_{S'}^{-1}(\xi_i^{t,+}, \eta_i^{t,+}) + \Delta_{S'}^{-1}(\xi_i^{t,-}, \eta_i^{t,-})}\right) \cdot (T_S - 1)\right), i = 1,2, \dots, m\ \kappa\alpha\iota\ T_S$ η πληθικότητα του συνόλου S. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται η μεθοδολογία στην παρούσα διατριβή αφορά τον ορισμό ενός ενιαίου συνόλου S για την αύξηση της ερμηνευσιμότητας των αποτελεσμάτων.

(viii) Υπολογίζουμε τον ομαδικό 2-tuple γλωσσικό πίνακα απόφασης $X = (\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it})_{m*k}$, όπου $(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) = \left(\xi_i^t, \eta_i^t\right), i = 1,2, \dots, m, t = 1,2, \dots, k$. Σε αυτό το στάδιο, οι συμμετέχοντες λαμβάνουν ίδια στάθμιση, αν και η διαφορετική στάθμιση δεν αποκλείεται μέσω της προσαρμογής των βημάτων 1-4.

(ix) Υπολογίζουμε την ομαδική ιδεατή και την αντι-ιδεατή λύση: $(r^+, \alpha^+) = \{(r_1^+, \alpha_1^+), (r_2^+, \alpha_2^+), \dots, (r_k^+, \alpha_k^+)\}$ και $(r^-, \alpha^-) = \{(r_1^-, \alpha_1^-), (r_2^-, \alpha_2^-), \dots, (r_k^-, \alpha_k^-)\}$, όπου $(r_t^+, \alpha_t^+) = \max_i\{(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) \,|c_j \in B\}\ or \min_i\{(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) \,|c_j \in B'\}$ και $(r_t^-, \alpha_t^-) = \min_i\{(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) \,|c_j \in B\}\ or \max_i\{(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) \,|c_j \in B'\}$, όπου $i = 1,2, \dots, m, t = 1,2, \dots, k$ με B και B' το σύνολο των κριτηρίων που είναι οφέλους και κόστους αντίστοιχα.

(x) Καθορίζουμε την απόσταση κάθε εναλλακτικής από ομαδική την ιδεατή και την αντι-ιδεατή λύση ως: $(\xi_i^+, \eta_i^+) = \Delta_{S'}\left(\frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k}\frac{(T_{S'}-1)}{(T_S-1)} \cdot (|\Delta_S^{-1}(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) - \Delta_S^{-1}(r_t^+, \alpha_t^+)|)\right)$ και $(\xi_i^-, \eta_i^-) = \Delta_{S'}\left(\frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k}\frac{(T_{S'}-1)}{(T_S-1)} \cdot (|\Delta_S^{-1}(\tilde{r}_{it}, \tilde{\alpha}_{it}) - \Delta_S^{-1}(r_t^-, \alpha_t^-)|)\right)$, όπου $S' = \{s_1', s_2', \dots, s_{t'}'\}$ είναι το σύνολο γλωσσικών όρων για τις αποστάσεις, T_S και $T_{S'}$ οι πληθικότητες των συνόλων S και S' αντίστοιχα.

(xi) Τέλος, τη σχετική απόσταση κάθε εναλλακτικής ως: $(\xi_i, \eta_i) = \Delta_{S'}\left(\left(\frac{\Delta_{S'}^{-1}(\xi_i^-, \eta_i^-)}{\Delta_{S'}^{-1}((\xi_i^+, \eta_i^+)) + \Delta_{S'}^{-1}(\xi_i^-, \eta_i^-)}\right) \cdot (T_S - 1)\right), i = 1,2, \dots, m$ *και* T_S η πληθικότητα του συνόλου S.

Όπως φαίνεται από την περιγραφή των βημάτων, χρησιμοποιούνται δύο γύροι της 2-tuple TOPSIS, κάτι που την καθιστά 2-tuple Group TOPSIS σύμφωνα με την προσέγγιση που πρότειναν οι Krohling και Campanharo (2011) για την Fuzzy TOPSIS και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για τη Behavioural TOPSIS (Nikas et al., 2018a). Ο πρώτος γύρος υπολογίζει μια αρχική λύση ανεξάρτητα για κάθε συμμετέχοντα και στη συνέχεια, από τα ενδιάμεσα αποτελέσματα, σχηματίζεται ένας νέος πίνακας, όπου εφαρμόζεται και πάλι η 2-tuple TOPSIS, με τα ενδιαφερόμενα μέρη να αποτελούν τα «κριτήρια» του νέου μοντέλου TOPSIS.

Μέτρηση ομοφωνίας

Σε ομαδικά προβλήματα λήψης αποφάσεων είθισται να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ατομικών απαντήσεων και της ομαδικής λύσης. Οι συμμετέχοντες από διαφορετικά υπόβαθρα, όπως σε αυτή τη μελέτη, τείνουν να αξιολογούν εναλλακτικές λύσεις διαφορετικά, αντιπροσωπεύοντας μια ποικιλία προοπτικών και σε κάποιες περιπτώσεις συμφερόντων. Για να μετρήσουν αυτές τις διαφορετικές εκτιμήσεις, οι Kacprzyk και Fedrizzi (1986) εισήγαγαν την έννοια της «ήπιας» ομοφωνίας ως μέτρο για την καταγραφή και τον υπολογισμό του επιπέδου ομοιότητας/ανομοιότητας. Ο χαρακτηρισμός «ήπιας» προστίθεται δεδομένου ότι η επίτευξη (πλήρους) ομοφωνίας συνήθως δεν είναι δυνατή, καθώς είναι πρακτικά αδύνατο όλοι οι συμμετέχοντες να μοιράζονται ακριβώς τις ίδιες απόψεις και να τις αποδίδουν με τον ακριβή ίδιο τρόπο. Στα πλαίσια του τόμου χρησιμοποιείται η ομοφωνία με την «ήπια» έννοια του όρου, ενώ παρεμφερείς όροι αποτελούν συναίνεση/συμφωνία. Οι τεχνικές μέτρησης της ομοφωνίας, είτε ανεξάρτητα είτε ως μέρος ολοκληρωμένων διαδικασιών επίτευξης ομοφωνία που περιλαμβάνουν μηχανισμούς ανατροφοδότησης, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην

ομαδική λήψη αποφάσεων, ειδικά όταν περιλαμβάνουν γλωσσικές μεταβλητές (Herrera et al., 1996). Για τον υπολογισμό της ομοφωνίας, συνήθως ακολουθούνται δύο προσεγγίσεις (Dong et al., 2018). Οι προτιμήσεις των ενδιαφερόμενων μερών συγκρίνονται είτε μεταξύ τους σε ζεύγη (π.χ. Palomares et al., 2013) είτε με μια συλλογική λύση (π.χ. Ben-Arieh and Chen, 2006). Οι Herrera-Viedma et al. (2002) υποστήριξαν ότι, συγκρίνοντας μια συλλογική λύση με τις ατομικές προτιμήσεις, είναι δυνατόν να καταγραφούν οι διαφορές στην κατάταξη και όχι στις αξιολογήσεις, αποφεύγοντας την υπερεκτίμηση διαφορετικών αξιολογήσεων που όμως οδηγούν σε παρόμοιες κατατάξεις. Από την άλλη όμως, σε περιπτώσεις κοντινών βαθμολογιών είναι δυνατόν μια μέθοδος βασισμένη στην κατάταξη να υπερεκτιμήσει επίσης μικρές διαφορές, απλά και μόνο επειδή πολλές εναλλακτικές συσσωρεύονται σε ένα σημείο της κλίμακας. Εδώ επεκτείνουμε την προσέγγιση αυτή των Herrera-Viedma et al. (2002) χρησιμοποιώντας την αξιολόγηση της 2-tuple TOPSIS στην ομαδική λύση για τη στάθμιση των αποστάσεων των ατομικών προτιμήσεων από αυτή τη λύση, καταγράφοντας έμμεσα τόσο τις διαφορές στην κατάταξη όσο και τις ακριβείς αριθμητικές ανομοιότητες. Συνολικά, υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα μέτρησης της ομοφωνίας, με τους Palomares et al. (2014) να τα χαρτογραφούν με βάση τις διαδικασίες που ακολουθούνται, για να δηλώσουν ότι είναι επιτακτική ανάγκη όχι μόνο να δημιουργηθούν ή να συγκριθούν μοντέλα, αλλά και να ταυτίζεται η μεθοδολογική προσέγγιση με την καταλληλότητα ενός μοντέλου ως προς την επίλυση συγκεκριμένων τύπων προβλημάτων ομαδικής λήψης αποφάσεων. Ισχυριζόμαστε ότι το μοντέλο που χρησιμοποιείται εδώ, κρίνεται κατάλληλο για την αντιμετώπιση προβλημάτων ομαδικής λήψης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με πολλά ενδιαφερόμενους φορείς. Σε τέτοια προβλήματα, λόγω της αντικρουόμενης φύσης των συμφερόντων/προτιμήσεων μεταξύ των διαφόρων ομάδων που συμμετέχουν, συνήθως αντικείμενο της διαδικασίας δεν είναι πάντα να οδηγήσει/αναγκάσει σε μια συναινετική λύση που θα ήταν πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί, αλλά να γίνει κατανοητή η διαφορετική δυναμική μεταξύ των συμμετεχόντων. Για το σκοπό αυτό, ένα πλαίσιο που χρησιμοποιεί ένα μοντέλο κατάταξης MCDA για να καταλήξει σε μια αρχική λύση και στη συνέχεια υπολογίζει ένα μέτρο ομοφωνίας για να αυξήσει την ευρωστία μιας τέτοιας λύσης και να επιτρέψει περαιτέρω επεξεργασία για να προσδιορίσει τα κίνητρα κάθε ομάδας, μπορεί να λειτουργήσει ως πρώτο βήμα στις προσπάθειες αύξησης της διπλωματίας της επιστήμης του κλίματος (Nikas et al., 2020). Ταυτόχρονα, σε αυτή την προσέγγιση δεν αποτρέπεται η επέκταση για την ενσωμάτωση ανατροφοδότησης. Τα βήματα του μοντέλου μέτρησης ομοφωνίας περιγράφονται παρακάτω:

(i) Η ανομοιότητα κάθε συμμετέχοντα σε μια κάθε εναλλακτική $p_i(x_j)$ υπολογίζεται ως η απόσταση ανάμεσα στο αποτέλεσμα της 2-tuple TOPSIS για τη συγκεκριμένη εναλλακτική της ατομικής λύσης του συμμετέχοντα από το αποτέλεσμα της συνολικής λύσης για την εν λόγω εναλλακτική, ως: $p_i(x_j) = p(R^i, R^c)(x_j) = \left(\frac{|R_j^c - R_j^i|}{T-1}\right)^b \in [0,1],\ b \geq 0$, όπου i ο συμμετέχοντας, j η εναλλακτική, b λαμβάνει τιμές στο διάστημα (0,1] για τον έλεγχο της αυστηρότητας του μοντέλου (χαμηλότερα b τιμωρούν περισσότερο τις αποκλίσεις), R_j^c το αποτέλεσμα της 2-tuple TOPSIS στην εναλλακτική j της ομαδικής λύσης, R_j^i το αποτέλεσμα της 2-tuple TOPSIS στην εναλλακτική j της ατομικής λύσης του συμμετέχοντα i, και T η πληθικότητα του συνόλου γλωσσικών μεταβλητών, η οποία χρησιμοποιείται για να κανονικοποιηθούν οι τιμές της ανομοιότητας.

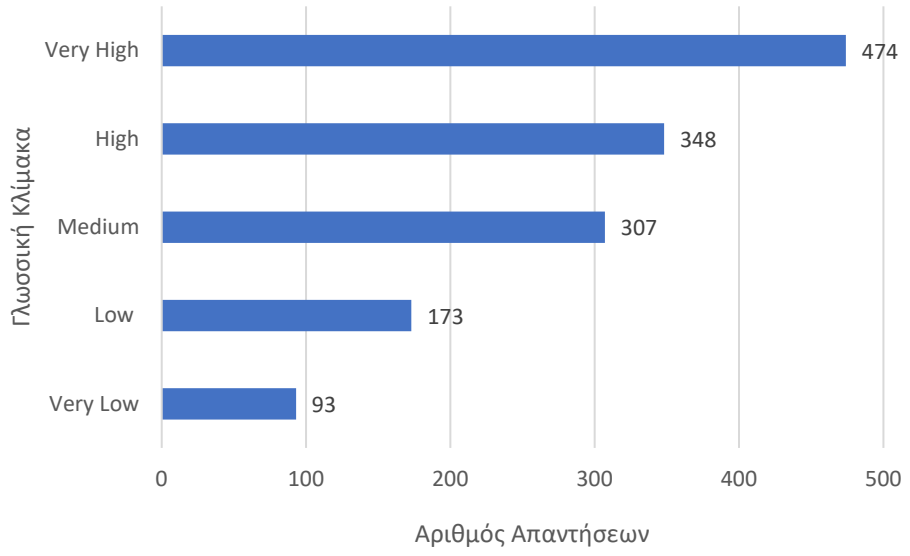
(ii) Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το επίπεδο ομοφωνίας όλων των συμμετεχόντων σε κάθε εναλλακτική x_j μέσω της έκφρασης $C(x_j) = 1 - \sum_{i=1}^{m} \frac{p_i(x_j)}{m}$, όπου το m εκφράζει τον συνολικό αριθμό συμμετεχόντων.

(iii) Τέλος, υπολογίζουμε το συνολικό επίπεδο ομοφωνίας στο σύνολο των εναλλακτικών C_X, ως: $C_X = \frac{\sum_{j=1}^{k} C(x_j) * R_j^C}{\sum_{j=1}^{k} R_j^C}$, όπου k ο συνολικός αριθμός των εναλλακτικών. Σε αυτή την προσέγγιση, η συνάθροιση πραγματοποιείται μέσω ενός σταθμισμένου μέσου όρου, όπου τα αποτελέσματα της 2-tuple TOPSIS για την ομαδική λύση χρησιμοποιούνται ως τα βάρη επί της ομοφωνίας κάθε εναλλακτικής.

(iv) Σε παρόμοια λογική με το συνολικό επίπεδο ομοφωνίας, η εγγύτητα του συμμετέχοντα i στην ομαδική λύση υπολογίζεται ως: $P_X^i = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(1 - p_i(x_j)\right) * R_j^C}{\sum_{j=1}^{k} R_j^C}$

7.4.3 Αποτελέσματα

Κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου, οι 31 συμμετέχοντες ψήφισαν για το ποια από τα 15 SDGs θεωρούνται πιο επείγοντα με βάση τα τρία κριτήρια μέσω μιας 5-βάθμιας γλωσσικής κλίμακας. Η κατανομή της χρήσης κάθε όρου της γλωσσικής κλίμακας σε απόλυτη τιμή και χωρίς αναγωγή ή συνάθροιση των αποτελεσμάτων αποτυπώνεται στην Εικόνα 7.7.

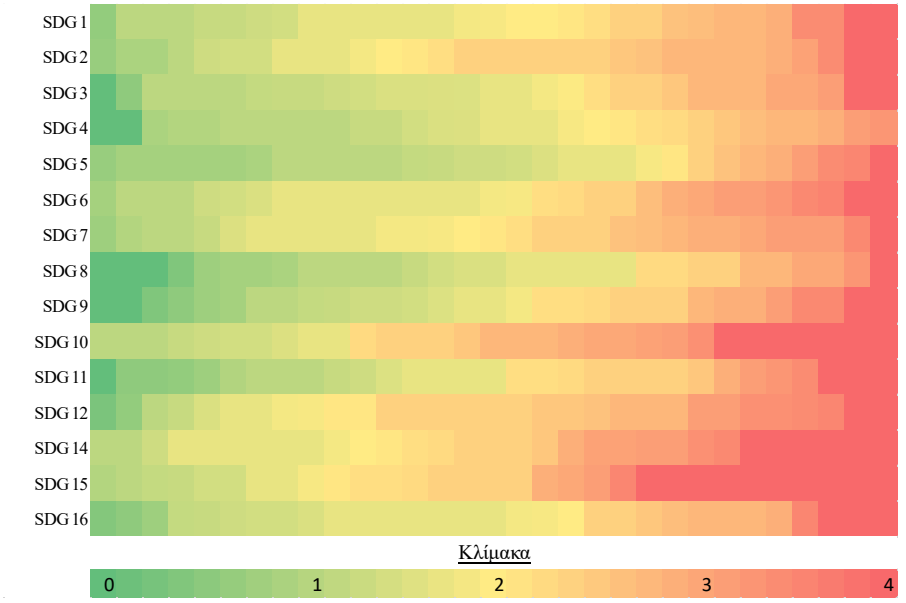


Εικόνα 7.7. Η κατανομή της χρήσης κάθε όρου της γλωσσικής κλίμακας σε απόλυτους αριθμούς

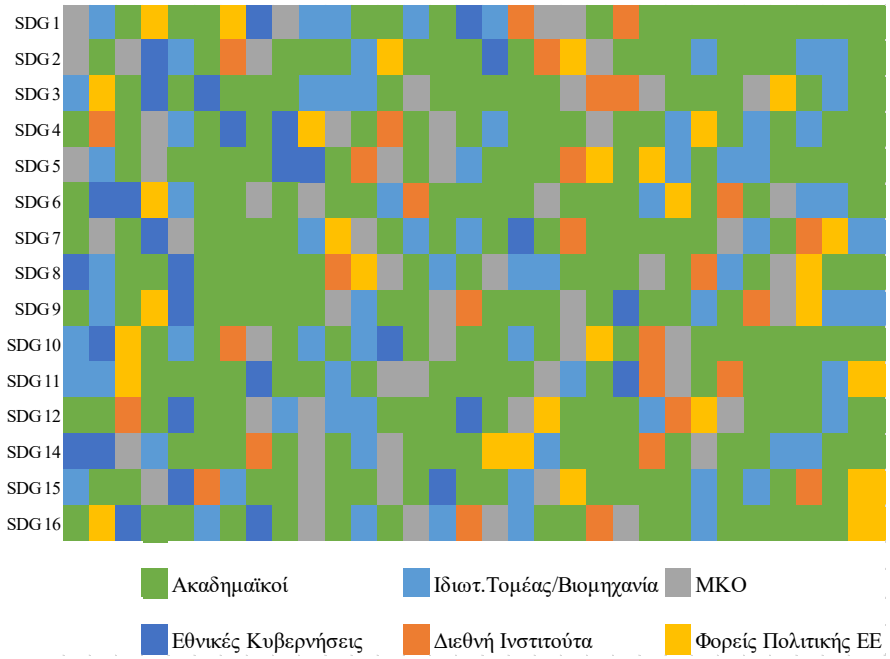
Η σημασία των SDG, η σχετικότητα με την κλιματική δράση και η ανάγκη να συνεχιστεί η πρόοδος προς την επίτευξη των στόχων είναι ήδη προφανής ακόμα και από αυτά τα πρώτα αποτελέσματα. Οι απαντήσεις των ενδιαφερόμενων μερών τείνουν να βρίσκονται στο υψηλότερο άκρο της κλίμακας, με τις "High" και "Very High" αξιολογήσεις να κυριαρχούν σχεδόν στο 58% των συνολικών απαντήσεων και τη μέση τιμή ανηγμένη σε 2-tuple να είναι (High, -0.33). Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον αν αναλογιστεί κανείς ότι συνήθως υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων γενικά ακολουθούν μια πιο μετριοπαθή συμπεριφορά (Mascarenhas et al., 2014) ή/και προτιμούν ενδιάμεσες εναλλακτικές λύσεις (Chen et al., 2020), και άρα οι ψήφοι τους συνήθως συνωστίζονται αρκετά στο ενδιάμεσο της εκάστοτε κλίμακας. Παρόλο που η κατανομή αυτή είναι ένα αρχικό βήμα της ανάλυσης, οι απαντήσεις αυτές αποτελούν μια πρώτη ένδειξη για την έκφραση μιας αναγκαιότητας από την σκοπιά των ενδιαφερόμενων μερών για την αξία των SDG και άρα κατ' επέκταση για την περαιτέρω μελέτης τους, πχ. στα IAMs.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα από την ψηφοφορία εισάγονται στο μοντέλο APOLLO που ενσωματώνει τη μεθοδολογία 2-tuple Group TOPSIS. Όπως συζητήθηκε παραπάνω, η μεθοδολογία περιλαμβάνει δύο βήματα, την λήψη ενός διανύσματος απόφασης για κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά (ατομική του λύση), και τη συνάθροιση όπου από το σύνολο των ατομικών διανυσμάτων παράγεται η τελική ομαδική λύση. Πριν προχωρήσουμε στη συνάθροιση, και να απεικονίσουμε το ενδιάμεσο αποτέλεσμα από τις ατομικές λύσεις, κατατάσσουμε τις αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών ανά SDG για την παραγωγή ενός χάρτη θερμότητας

που παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.8α. Ο χάρτης θερμότητας μας δίνει μια πρώτη εικόνα για την ένταση και τον επείγοντα χαρακτήρα κάθε SDG με βάση την αξιολόγηση των ενδιαφερόμενων μερών, ενώ η αντίστοιχη ανάλυση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο ξεχωριστών ομάδων αναδεικνύει και ορισμένες τάσεις κάθε ομάδας (Εικόνα 7.8β).



(α)

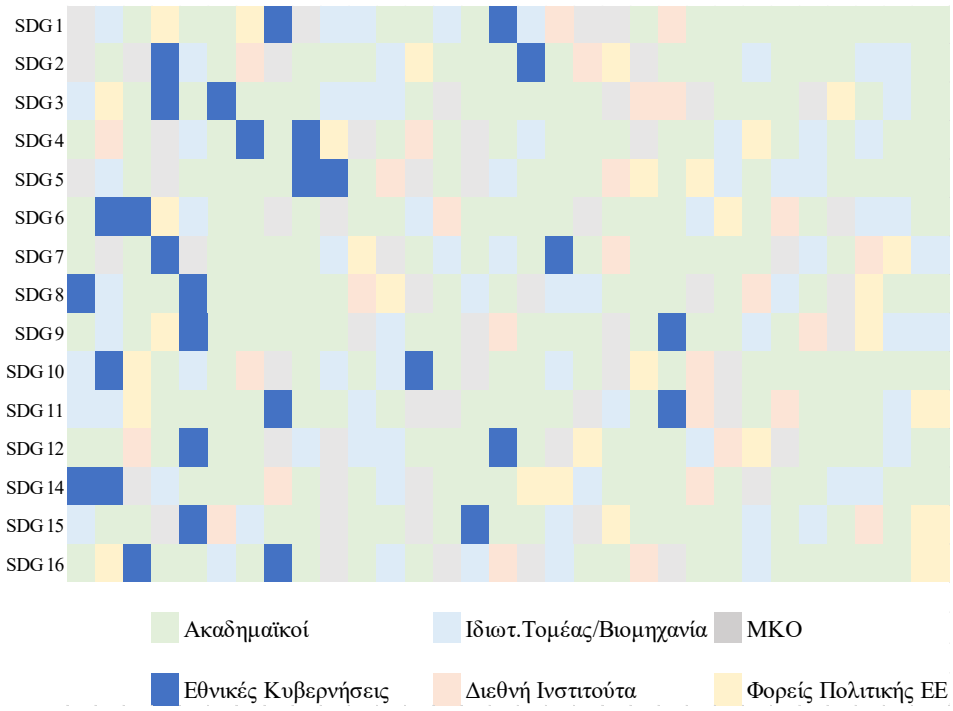


(β)

Εικόνα 7.8. Αποτελέσματα ατομικών λύσεων μετά τον πρώτο γύρο της 2-tuple TOPSIS για την ένταση των βαθμολογιών κάθε SDG (α) στο σύνολο των συμμετεχόντων, και (β) ανά ομάδα.

Ειδικότερα, τα SDG15 και 14 φαίνεται να συγκεντρώνουν τις υψηλότερες τιμές και να έχουν υψηλή ένταση στην κόκκινη περιοχή του χάρτη, υποδεικνύοντας μια πρώτη προτίμηση των ενδιαφερόμενων μερών για θέματα που σχετίζονται με τη ζωή κάτω από το νερό και την ξηρά, ανησυχώντας για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα. Η μείωση των ανισοτήτων (SDG10) φαίνεται επίσης να αποτελεί σημαντική προτεραιότητα των ενδιαφερόμενων μερών, με σχεδόν τα δύο τρίτα των αξιολογήσεων να βρίσκονται στο υψηλότερο άκρο της κλίμακας.

Οι περισσότερες ομάδες ενδιαφερομένων παρουσίασαν εσωτερικές διακυμάνσεις στις αξιολογήσεις μεταξύ των μελών της ίδιας ομάδας, με τις απαντήσεις να κατανέμονται σε όλο το εύρος της κλίμακας του χάρτη (Εικόνα 7.8β). Αυτή η απόκλιση είναι σε ένα βαθμό αναμενόμενη, ιδίως στις ομάδες που εκπροσωπούνται από περισσότερους συμμετέχοντες (π.χ. ακαδημαϊκοί), και είναι ενδεικτική της ποικιλίας απόψεων που ενσωματώνονται στην ανάλυση. Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι δύο ομάδες παρουσίασαν μοτίβα στις αξιολογήσεις τους που διαφοροποιούνται από την τυχαία κατανομή. Συγκεκριμένα, τα μέλη διεθνών οργανισμών παρείχαν αξιολογήσεις που τοποθετούνται ελαφρώς υψηλότερα στον χάρτη, ενώ αντίθετα οι περισσότερες αξιολογήσεις από τους εθνικούς φορείς χάραξης πολιτικής τοποθετήθηκαν στα χαμηλότερα επίπεδα της κλίμακα (Εικόνα 7.9). Αυτό είναι επίσης εμφανές από το γεγονός ότι, μετά τον υπολογισμό του μέσου όρου των απαντήσεων των ενδιαφερόμενων μερών, που προέρχονται από τις εθνικές κυβερνήσεις, κανένα SDG δεν έλαβε αξιολόγηση μεγαλύτερη από (Medium, 0.23), αντανακλώντας ενδεχομένως είτε μια αίσθηση άνεσης με την πρόοδο που σημειώθηκε σε κάθε SDG είτε με μια άποψη ότι δεν υφίσταται επιτακτική ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και/ή ειδική εστίαση στην διασύνδεση κλιματικής δράσης και βιωσιμότητας.



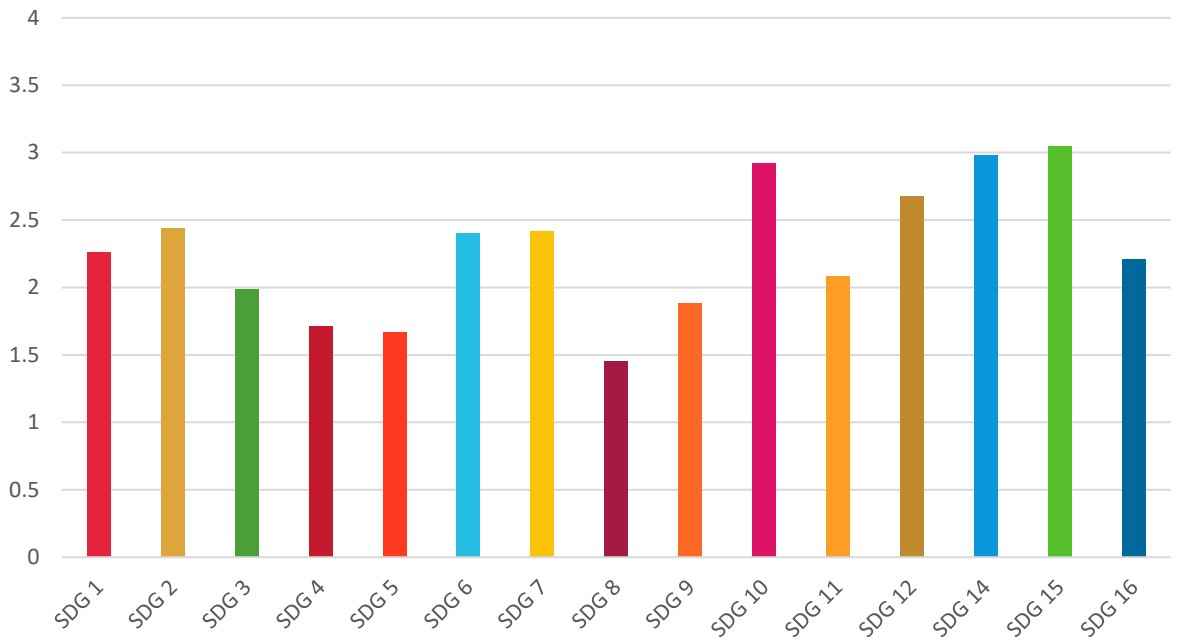
Εικόνα 7.9. Αξιολογήσεις των SDG από εκπροσώπους των εθνικών κυβερνήσεων

Προχωρώντας στο δεύτερο βήμα όπου όλες οι ατομικές λύσεις συναθροίζονται, παράγεται η κατάταξη των SDG ως αποτέλεσμα μιας συλλογικής λύσης της ομάδας συμμετεχόντων (Πίνακας 7.5 και Εικόνα 7.10).

Πίνακας 7.5. Συλλογική κατάταξη των SDG από την ομάδα ενδιαφερόμενων μερών με βάση τα 2-tuple αποτελέσματα

Ranking	Evaluation
SDG 15: Life on Land	(High, 0.05)
SDG 14: Life Below Water	(High, -0.02)
SDG 10: Reduced Inequalities	(High, -0.08)
SDG 12: Responsible Consumption and Production	(High, -0.32)
SDG 2: Zero Hunger	(Medium, 0.44)
SDG 7: Affordable and Clean Energy	(Medium, 0.42)
SDG 6: Clean Water and Sanitation	(Medium, 0.4)
SDG 1: No Poverty	(Medium, 0.26)
SDG 16: Peace, Justice and Strong Institutions	(Medium, 0.21)
SDG 11: Sustainable Cities and Communities	(Medium, 0.08)
SDG 3: Good Health and Well-Being	(Medium, -0.01)

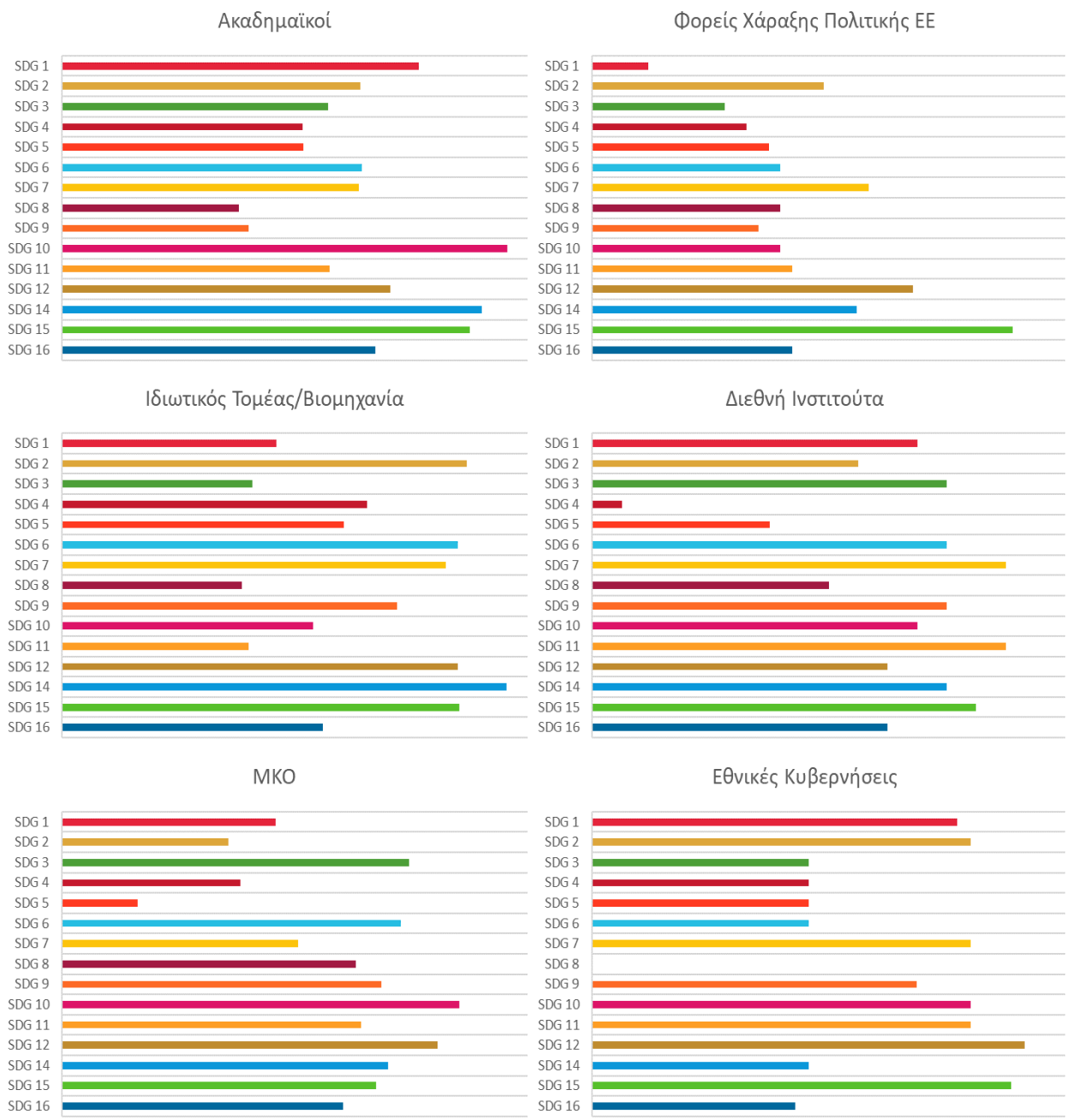
SDG 9: Industry, Innovation and Infrastructure	(Medium, -0.12)
SDG 4: Quality Education	(Medium, -0.29)
SDG 5: Gender Equality	(Medium, -0.33)
SDG 8: Decent Work and Economic Growth	(Low, 0.45)



Εικόνα 7.10. Τελική κατάταξη και αξιολογήσεις των SDG

Τα συλλογικά αποτελέσματα επικυρώνουν προηγούμενες πληροφορίες, με 4 από τους 15 SDG να λαμβάνουν υψηλές αξιολογήσεις, δέκα να λαμβάνουν αξιολογήσεις γύρω από τη μεσαία κλίμακα και μόνο μία να λαμβάνει χαμηλή αξιολόγηση. Επιβεβαιώνοντας τα πρώτα συμπεράσματα, η συλλογική ομάδα έδωσε προτεραιότητα σε ζητήματα που αφορούν τη ζωή στην ξηρά (SDG15), τη ζωή κάτω από το νερό (SDG14), στη μείωση των ανισοτήτων (SDG10), και την υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή (SDG12). Από την άλλη, το SDG8 που σχετίζεται με την οικονομική ανάπτυξη απέτυχε να προσελκύσει την προσοχή, με τα ενδιαφερόμενα μέρη είτε να θεωρούν ότι υπάρχει ήδη ικανοποιητική πρόοδος προς την επίτευξη αυτού του στόχου, ενώ υπάρχει η άποψη ότι ενσωματώνεται ήδη σε ένα βαθμό στα IAMs (μέσω του GDP) με αποτέλεσμα να υποχωρήσει στην κατάταξη. Είναι επίσης προφανές από τα αποτελέσματα ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη έδωσαν προτεραιότητα στα SDG που καλύπτουν πτυχές στις οποίες ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής είναι πιο εμφανής, ενώ τα SDG με λιγότερο εμφανείς αλληλεπιδράσεις με την κλιματική αλλαγή, όπως η ισότητα των φύλων ή η ποιοτική εκπαίδευση, έμειναν πίσω στην κατάταξη.

Παρατηρήσαμε ήδη ότι ορισμένες ομάδες εμφανίζουν διαφορετικά μοτίβα στις αξιολογήσεις τους και άρα και στα αποτελέσματα τους, οπότε επαναλαμβάνουμε το δεύτερο γύρο της 2-tuple TOPSIS αυτή τη φορά για κάθε ομάδα ξεχωριστά (δηλαδή υπολογίζοντας μια συλλογική λύση από μόνο τα μέλη κάθε ομάδας) (Εικόνα 7.11). Δεδομένου ότι η μεθοδολογία πίσω από την TOPSIS βασίζεται στη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων με μια ιδεατή και μια αντι-ιδεατή λύση, οι οποίες ορίζονται εσωτερικά στους υπολογισμούς, και δεδομένου ότι για κάθε ομάδα οι υπολογισμοί ήταν ανεξάρτητοι, τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται ποιοτικά (παρά το υφιστάμενο ημι-ποσοτικό πλαίσιο).

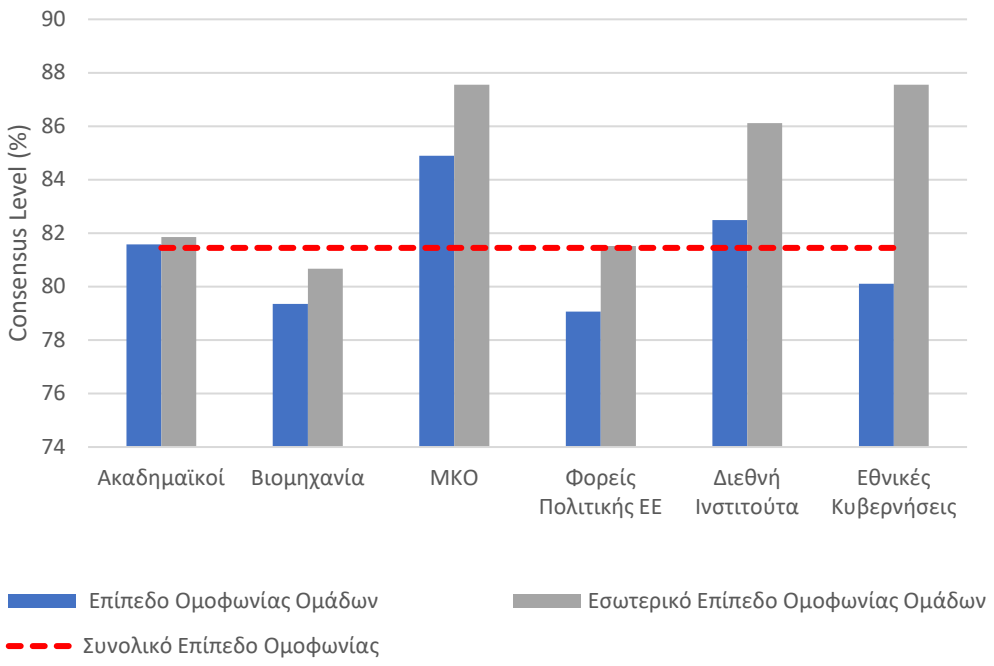


Εικόνα 7.11. Ιεράρχηση προτεραιοτήτων ανεξάρτητα για κάθε ομάδα ενδιαφερομένων

Παρά τις σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων, σε πέντε από τις έξι ομάδες το πρώτο SDG στην κατάταξη είναι ένα από τα τέσσερα που έλαβαν υψηλή αξιολόγηση στη συλλογική λύση (SDGs 10, 12, 14, 15). Αυτό παρέχει μια πρώτη ένδειξη ενός καλού επιπέδου συμφωνίας μεταξύ της ομάδας σχετικά με το ποια SDGs θεωρούνται πιο επείγοντα στη μελέτη μέσω δραστηριοτήτων μοντελοποίησης, δεδομένου ότι έλαβαν υψηλές αξιολογήσεις στις

περισσότερες ομάδες παρά την τελική τους σειρά. Οι αλλαγές στην κατάταξη των SDGs που περιστρέφονται γύρω από την μεσαία κλίμακα ήταν αναμενόμενες, καθώς κάθε ομάδα αξιολογεί με βάση διαφορετικές οπτικές γωνίες. Τα αποτελέσματα αυτά επίσης συνηγορούν στα συμπεράσματα μας αναφορικά με το SDG8 και την οικονομική ανάπτυξη. Τρεις ομάδες (NGOs, EU policymakers, International Institutions) ιεράρχησαν το SDG8 σε ενδιάμεσες θέσεις και αναμεμειγμένο με τα υπόλοιπα. Από την άλλη, εκπρόσωποι του ιδιωτικού τομέα και της βιομηχανίας και μέλη εθνικών κυβερνήσεων το τοποθέτησαν τελευταίο, επιβεβαιώνοντας το συμπέρασμα πως οι ομάδες αυτές έχουν μια αίσθηση ότι υπάρχει επαρκής πρόοδος. Μάλιστα στην περίπτωση εθνικών κυβερνήσεων το SDG8 αποτέλεσε αυτούσιο την αντι-ιδεατή λύση. Από την άλλη οι εκπρόσωποι του ακαδημαϊκού χώρου επίσης το αξιολόγησαν ως τελευταία προτεραιότητα, εξαιτίας της ήδη μερικής ενσωμάτωσης του στα IAMs, αποτελέσματα που οδήγησαν στην τελική κατάταξη του.

Μετά την ποιοτική κατανόηση των επιπέδων συμφωνίας στις ομάδες, χρησιμοποιώντας το δείκτη μέτρησης της ομοφωνίας που ενσωματώθηκε στην 2-tuple Group TOPSIS υπολογίζουμε ποσοτικά τη συναίνεση της ομάδας, δηλαδή την απόκλιση των ατομικών λύσεων από τη συλλογική λύση, βρίσκοντας ότι αυτή τοποθετείται στο 81.4%, αλλά όμως με την εγγύτητα κάθε μεμονωμένου συμμετέχοντα να βρίσκεται στο διάστημα 69% με 90% (άνω και κάτω φράγματα εντός του δείγματος), φανερώνοντας ότι υφίστανται διαφορές στην ομάδα. Για να καταγράψουμε αυτές τις διαφορές στις προτιμήσεις των ομάδων ενδιαφερομένων, πραγματοποιούμε και την ίδια διαδικασία, αυτή τη φορά όχι σε επίπεδο ατομικής λύσης αλλά σε επίπεδο διαχωρισμού ομάδων. Για παράδειγμα, για να υπολογίσουμε το επίπεδο ομοφωνίας της ακαδημαϊκής κοινότητας, συμπεριλαμβάνουμε μόνο τα ενδιαφερόμενα μέρη αυτής της ομάδας και τα συγκρίνουμε με τη συλλογική λύση. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ομάδα. Παράλληλα, υπολογίζουμε ένα «εσωτερικό» επίπεδο ομοφωνίας συγκρίνοντας τη λύση της ομάδας με τις λύσεις των ενδιαφερόμενων μερών της ομάδας. Το πρώτο μέτρο είναι μια ένδειξη του πόσο κοντά βρίσκονται τα ενδιαφερόμενα μέρη κάθε ομάδας με τη συλλογική λύση, ενώ το δεύτερο δείχνει πόσο κοντά είναι τα μέλη κάθε ομάδας μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.12.



Εικόνα 7.12. Επίπεδο ομοφωνίας ομάδας και εσωτερικό επίπεδο ομοφωνίας

Αναμενόμενα, η εσωτερική ομοφωνία είναι υψηλότερη από το επίπεδο ομοφωνίας της ομάδας με τη συλλογική λύση σε όλες τις ομάδες. Οι εκπρόσωποι της βιομηχανίας, καθώς και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής της ΕΕ και των κρατών μελών είχαν χαμηλότερη ομοφωνία από το σύνολο, ενώ οι ΜΚΟ είχαν το υψηλότερο επίπεδο, με μέλη από τον ακαδημαϊκό χώρο και τους διεθνείς οργανισμούς να βρίσκονται γύρω από τη μέση τιμή. Μέλη από ΜΚΟ, διεθνείς οργανισμούς και εθνικές κυβερνήσεις είχαν πολύ υψηλά επίπεδα εσωτερικής συναίνεσης, γεγονός που οδήγησε στην υψηλότερη διαφορά μεταξύ της ομοφωνίας με τη συλλογική λύση και της εσωτερικής ομοφωνίας. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την αξία της διαδικασίας, καθώς δείχνουν ότι σημασία δεν έχει μόνο η σύγκλιση σε μια μέση τιμή, αλλά η καταγραφή αυτών των δυναμικών συμπεριφορών και απόψεων που οδηγούν σε αποκλίσεις.

7.5 Μια παγκόσμια έρευνα για ρηξικέλευθες (game-changing) καινοτομίες

Ανάμεσα στα θέματα που ψηφίστηκαν κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου ήταν και ο ρόλος των GCI στα πλαίσια των προσπαθειών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Με βάση αυτή την πρόταση, διαμορφώνουμε μια διαδικτυακή έρευνα ως επακόλουθο του εργαστηρίου για να προσδιοριστεί η συνεισφορά των GCI στην απανθρακοποίηση, με βάση τις απόψεις ειδικών. Με τον όρο «ρηξικέλευθες καινοτομίες» στο πλαίσιο της δράσης για το κλίμα εννοούμε εκείνες τις

ανατρεπτικές καινοτομίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα που θα μπορούσαν να αλλάξουν τις ισορροπίες στις αγορές και τα συστήματα, πιθανώς προκαλώντας ρήγματα στα καθεστώτα όπως είδαμε και στις κοινωνικοτεχνικές μεταβάσεις, επηρεάζοντας σημαντικά την πορεία προς την απανθρακοποίηση. Αντλώντας από τη βιβλιογραφία (Napp et al., 2019; Wilson et al., 2019), ο Πίνακας 7.6 παρουσιάζει τις καινοτομίες που ενσωματώθηκαν στην έρευνα και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: βασικές τεχνολογικές καινοτομίες (Core Technological Innovations – CTIs) και άλλες καινοτομίες (συμπεριφορικές ή προσανατολισμένες στη ζήτηση) (Other disruptive innovations – ODIs).

Πίνακας 7.6. Κατάλογος βασικών GCI τεχνολογιών και άλλων ανατρεπτικών καινοτομιών

CTIs
Βιοκαύσιμα για τις αεροπορικές μεταφορές
Αεροσκάφη υδρογόνου
Hyperloop τρένα
Προηγμένα (2ης γενιάς) βιοκαύσιμα
Δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα (CCS)
Υδρογόνο στη χαλυβουργία
Ηλεκτρόλυση σιδηρομεταλλεύματος (για την παραγωγή σιδήρου)
Εναλλακτικά δομικά υλικά για χάλυβα και τσιμέντο
Βιοενέργεια με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS)
Biochar (πυρόλυση βιομάζας)
Ocean liming (προσθήκη σκόνης οξειδίου του ασβεστίου στους ωκεανούς)
Άμεση δέσμευση αέρα (DAC)
Αποθήκευση ενέργειας επόμενης γενιάς (power-to-gas, νέες μπαταρίες κ.λπ.)
Πυρηνική σύντηξη
ODIs
Εναλλακτικές μορφές αυτοκίνησης (car sharing, ride-sharing κ.λπ.)
Εναλλακτικές λύσεις στην αυτοκίνηση (ηλεκτρικά ποδήλατα, κινητικότητα ως υπηρεσία κ.λπ.)
Μειωμένη ζήτηση για μετακινήσεις (τηλεργασία, κ.λπ.)
Εναλλακτικές διατροφικές προτιμήσεις
Αστική παραγωγή τροφίμων (ιδιόκτητη καλλιέργεια τροφίμων, κοινοτική γεωργία κ.λπ.)
Σχέσεις παραγωγού-καταναλωτή (τοπική διανομή τροφίμων, παραδόσεις κουτιών τροφίμων κ.λπ.)
Μειωμένη ζήτηση τροφίμων (σπατάλη τροφίμων κ.λπ.)
Διασυνδεσιμότητα για βελτιστοποιημένη χρήση (έξυπνες συσκευές, LED, έξυπνα σπίτια κ.λπ.)
Βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων (π.χ. έξυπνοι έλεγχοι θέρμανσης)
Μειωμένη ζήτηση για χώρο και υλικά (κοινή χρήση)

Νέοι πάροχοι υπηρεσιών (εταιρείες ενεργειακών υπηρεσιών, φορείς συγκέντρωσης ενέργειας, χρηματοδότηση από τρίτους)
Ενσωμάτωση των καταναλωτών στα δίκτυα (απόκριση ζήτησης, τιμολόγηση χρόνου χρήσης, κ.λπ.)
Αποκεντρωμένος ενεργειακός εφοδιασμός (φωτοβολταϊκά με αποθήκευση, μικροανεμογεννήτριες κ.λπ.)

Περισσότεροι από 250 εμπειρογνώμονες απάντησαν σε 3 ερωτήσεις (κριτήρια) για κάθε καινοτομία, και συγκεκριμένα: την αντίληψή τους για τα πιθανό επίπεδα μετριασμού που μπορούν να επιτευχθούν από τη χρήση τους, πότε αναμένουν ότι κάθε τεχνολογία θα καταστεί εμπορικά διαθέσιμη και το βαθμό κινδύνου μη διαθεσιμότητας ή καθυστέρησης αυτών των τεχνολογιών (ρίσκο). Οι ερωτηθέντες απάντησαν με βάση γλωσσικές μεταβλητές (εκφρασμένες σε ποσοτικές τιμές από 0 έως 4) και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πλαίσιο που παρουσιάζεται στο Υποκεφάλαιο 7.4.2 (2-tuple Group TOPSIS).

Στο ερωτηματολόγιο με τα CTIs (Εικόνα 7.13α), η κορυφαία ομάδα προτεραιότητας περιλαμβάνει τρεις τεχνολογίες για την απανθρακοποίηση του βιομηχανικού τομέα, συμπεριλαμβανομένων των εναλλακτικών δομικών υλικών για χάλυβα και τσιμέντο (βαθμολογία TOPSIS = 2.78), του υδρογόνου στη χαλυβουργία (2.72) (την συνεισφορά του οποίο μελετήσαμε κοινωνικοτεχνικά και στο Κεφάλαιο 3), και την ηλεκτρόλυση σιδηρομεταλλεύματος (2.58), ενώ μαζί με αυτές τις τεχνολογίες τοποθετείται και η αποθήκευση ενέργειας επόμενης γενιάς (2.70). Οι τεχνολογίες σχετικά μέτριας έως υψηλής προτεραιότητας περιλαμβάνουν τεχνολογίες για τη δέσμευση του άνθρακα, δηλαδή BECCS (2.34), CCS (2.24) και biochar (2.24), και τεχνολογίες για τα βιοκαύσιμα για τις αεροπορικές μεταφορές (2.36) και τα προηγμένα βιοκαύσιμα (2.24). Οι τεχνολογίες χαμηλότερης προτεραιότητας περιλαμβάνουν τα αεροσκάφη υδρογόνου (1.47) τα τρένα με hyperloops (1.40), DAC (1.30), ocean liming (1,19), καθώς και πυρηνική σύντηξη (1.05). Διαπιστώνουμε επίσης υψηλή ομοφωνία μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών (84.8%), υπονοώντας μικρές αποκλίσεις μεταξύ της συλλογικής λύσης (δηλαδή, των αποτελεσμάτων της ομάδας στο σύνολό της) και των μεμονωμένων απόψεων των ενδιαφερόμενων μερών.

Σε αντίθεση με τα CTIs, στα ODIs οι διαφορές στα αποτελέσματα ήταν ομοιόμορφα διακριτές (Εικόνα 7.13β), με αποτέλεσμα να μην μπορούν να φανούν ξεκάθαρες ομαδοποιήσεις σπουδαιότητας. Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι συνολικά τα ODIs συγκέντρωσαν υψηλότερες βαθμολογίες από τα CTIs, παρόλο που δεν τίθενται άμεσα σε ανταγωνισμό, παρέχοντας μια ένδειξη της τάσης των ειδικών να προσδώσουν αξία σε καινοτομίες που περιστρέφονται από

την πλευρά της ζήτησης. Τα κορυφαία ODIs είναι προσανατολισμένα προς την κινητικότητα, συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης ζήτησης (2.95) και εναλλακτικές λύσεις (2.80) στις μεταφορές, αν και τα εναλλακτικά μοντέλα κινητικότητας (π.χ. κοινή χρήση αυτοκινήτων) έλαβαν χαμηλότερη βαθμολογία προτεραιότητας (2.56). Τα ODI σχετικά υψηλής προτεραιότητας κατευθύνονται επίσης σε καινοτομίες στον τομέα των κτιρίων και του ενεργειακού εφοδιασμού που έχουν ήδη επιδιωχθεί από την πολιτική αλλά δεν έχουν επιτευχθεί πλήρως στον επιθυμητό βαθμό. Αυτές περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων (2.72), την εδραίωση αποκεντρωμένου ενεργειακού εφοδιασμού (2.60) και τη διασφάλιση της διασυνδεσιμότητας για τη βελτιστοποίηση της χρήσης (2.57). Από τις καινοτομίες που σχετίζονται με τα κτίρια, η μειωμένη ζήτηση για χώρο και υλικά τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος της κατάταξης (1.84). Άλλα μέτρα για τον ενεργειακό εφοδιασμό έλαβαν μέσες προτεραιότητες, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης των καταναλωτών στα δίκτυα (2.42), και της εισόδου νέων παρόχων υπηρεσιών (ενέργειας) (2.37). Οι καινοτομίες που σχετίζονται με τα τρόφιμα θεωρήθηκαν χαμηλής προτεραιότητας. Αυτές περιλάμβαναν βελτιωμένους δεσμούς παραγωγού-καταναλωτή (2.16), μειωμένη ζήτηση τροφίμων (1.85), εναλλακτικές διατροφικές συνήθειες (1.79) και την αστική παραγωγή τροφίμων (1.30). Η ομοφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων σχετικά με αυτές τις καινοτομίες (80.2%) ήταν χαμηλότερη από ό, τι στην έρευνα CTI, αντανακλώντας τον υψηλότερο ανταγωνισμό μεταξύ μεμονωμένων εναλλακτικών λύσεων.

Συνολική Λύση
Επαγγελματική Ιδιότητα
Ομοφωνία
Χώρα (επίπεδο εισοδήματος)
Φύλο
Βιοκαύσιμα (αεροπορικά)
Αεροσκάφη υδρογόνου
Hyperloop τρένα
Προηγμένα βιοκαύσιμα
CCS
Υδρογόνο στη χαλυβουργία
Ηλεκτρόλυση σιδηρομεταλλεύματος
Εναλ. δομικά υλικά (χάλυβας/τσιμέντο)
BECCS
Bio-char
Ocean liming
DAC
Αποθήκευση ενέργειας επόμενης γενιάς
Πυρηνική σύντηξη
Ακαδημαϊκοί
Βιομηχανία
Εθνικές Κυβερνήσεις
Διεθνή Ινστιτούτα
ΜΚΟ
HI χώρες
UMI χώρες
LMI/LI χώρες
Αρσενικό
Θηλυκό
-0.60% Γυναίκες
0.10% Άντρες
-2.60% LMI/LI χώρες
-1.60% UMI χώρες
1.10% HI χώρες
0% ΜΚΟ
0.10% Διεθνή Ινστιτούτα
0.80% Εθνικές Κυβερνήσεις
0.90% Βιομηχανία
-0.80% Ακαδημαϊκοί
84.8% Συνολικό Επίπεδο

α)

β)

Εικόνα 7.13. Βαθμολογίες TOPSIS και ομοφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων για (α) CTIs και (β) ODIs

7.6 Συζήτηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η νέα μέθοδος ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple Group TOPSIS ειδικά διαμορφωμένη για να ανταποκρίνεται σε προβλήματα συμμετοχικότητας ενδιαφερόμενων μερών στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική, η οποία συμβάλλει στην εξαγωγή γνώσης και προτιμήσεων/απόψεων από συμμετέχοντες μέσω απλών γλωσσικών μεταβλητών και στην κατανόηση των διαφορών στις απόψεις συμμετεχόντων με διαφορετικές οπτικές γωνίας και προέλευση. Στη συνέχεια παρουσιάζει τα αποτελέσματα από ένα εργαστήριο με τη συμμετοχή πάνω από 50 ενδιαφερόμενων μερών με στόχο τη διαμόρφωση προτεραιοτήτων μοντελοποίησης και διαμόρφωσης σεναρίων και ιδιαίτερα την προτεραιοποίηση στόχων βιώσιμης ανάπτυξης ως έκφραση μιας ευρύτερης ατζέντας που αλληλεπιδρά άμεσα με την κλιματική δράση, και παρέχει στους συμμετέχοντες ένα μεγαλύτερο εύρος επιλογών για να παρουσιάσουν τις απόψεις τους. Η αναγκαιότητα αυτή απορρέει από μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία εντόπισε ότι οι ασκήσεις μοντελοποίησης δυσκολεύονται να εκπροσωπήσουν τα SDG και το επιτυγχάνουν μόνο μέσω επιμέρους στόχων, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει κενό στη χρήση των SDG ως εναλλακτικών λύσεων σε ασκήσεις βασισμένες σε τεχνικές MCDA. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από μια έρευνα που αφορούσε ρηξικέλευθες καινοτομίες (GCI).

Από τις πρώτες συνεδρίες του εργαστηρίου στις οποίες ακολουθήθηκε μια συστηματική διαδικασία διαβούλευσης, με τον καθορισμό εκ των προτέρων ενός εύρους θεματικών τα οποία με διαδοχικές διαδικασίες ψηφοφορίας και συζητήσεων οδήγησαν στην εξαγωγή χρήσιμων προτεραιοτήτων για την τροφοδότηση ασκήσεων μοντελοποίησης στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική και τα οποία τροφοδοτούν τμήματα της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα ξεχώρισαν ζητήματα που αφορούσαν τα ρεαλιστικά σενάρια αναφοράς με βάση το που βαδίζει η Ευρώπη και ο κόσμος δεδομένων των υφιστάμενων πολιτικών και δεσμεύσεων, ο ρόλος των αλλαγών συμπεριφοράς και του τρόπου ζωής, η πιθανή αποτυχία ρηξικέλευθων καινοτομιών, ο ρόλος του υδρογόνου, καθώς επίσης και θέματα που αφορούν την απασχολησιμότητα.

Αναφορικά με τη συνεδρία για τα SDG, αυτά εισάγονται στην ανάλυση ως εναλλακτικές λύσεις με στόχο την ιεράρχησή τους με βάση τη σημασία τους, τη συνάφειά τους με την κλιματική αλλαγή και την πρόοδο που έχει επιτευχθεί μέχρι στιγμής. Ήδη από την αρχή της ανάλυσης κατέστη προφανές ότι τα εμπλεκόμενα ενδιαφερόμενα μέρη θεώρησαν ότι η περαιτέρω μελέτη των SDG σε σχέση με την κλιματική αλλαγή είναι κρίσιμη. Οι περισσότερες από τις

αρχικές απαντήσεις τους επικεντρώθηκαν προς το ανώτερο άκρο της γλωσσικής κλίμακας, με τον όρο «Very High» να λαμβάνει τις περισσότερες απαντήσεις. Αυτό δείχνει ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη όχι μόνο πιστεύουν ότι τα SDG είναι σημαντικά και σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη δράση, αλλά και ότι μέχρι στιγμής έχει σημειωθεί περιορισμένη πρόοδος όσον αφορά την επίτευξή τους. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται δεδομένης της γενικής τάσης των ενδιαφερόμενων μερών να ακολουθούν μετριοπαθή συμπεριφορά και να αποφεύγουν ακραίες τιμές της κλίμακας σε τέτοιου είδους ασκήσεις.

Τόσο από την ενδιάμεση πολυκριτηριακή ανάλυση όσο και από την τελική κατάταξη, μπορεί να συναχθεί προτίμηση όσον αφορά τα SDG 10, 12, 14 και 15, τα οποία έλαβαν υψηλές αξιολογήσεις από την πλειοψηφία των ενδιαφερόμενων μερών. Από αυτά, δόθηκε μεγαλύτερη προτεραιότητα στη ζωή στην ξηρά και κάτω από το νερό (SDG 15 και 14), γεγονός που δείχνει ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη ανησυχούν κυρίως για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα, καθώς και για τον τρόπο με τον οποίο η ανθρώπινη συμπεριφορά επηρεάζει το ευρύτερο περιβάλλον και τη ζωή σε αυτό, ιδίως σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι μεταχειρίζονται τους πόρους (SDG12). Αυτό το αποτέλεσμα είναι ενδιαφέρον, καθώς λίγες μελέτες μοντελοποίησης βρέθηκαν να έχουν αναλύσει τις επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, ενώ τα SDG που σχετίζονται με τις ανισότητες δεν καλύπτονται επαρκώς στις μελέτες μοντελοποίησης, εκτός από έναν περιορισμένο αριθμό δεικτών (van Soest et al., 2019).

Αναφορικά με τα κοινωνικά SDG, η σύνδεση μεταξύ ευρύτερων ανισοτήτων και ανισοτήτων μεταξύ των φύλων, καθώς και της φτώχειας ειδικότερα αναφορικά με τις ευάλωτες ομάδες όσον αφορά την επίδραση της κλιματικής αλλαγής δημιουργεί μια διασύνδεση μεταξύ των SDG 1, 5 και 10 (UNESCO, 2017). Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη, οι αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών οδήγησαν αυτά τα σχετικά SDG να τοποθετούνται σε σημαντικά διαφορετικές θέσεις της κατάταξης, με τις μειωμένες ανισότητες να κατατάσσονται ψηλά, την εξάλειψη της φτώχειας στη μέση και τις ανισότητες μεταξύ των φύλων στη βάση. Αυτή η διαφορά μπορεί να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα δύο παραγόντων. Πρώτον, θα μπορούσε να εκφράσει μια πραγματική προτίμηση του SDG10 ως σημαντικότερου από τους άλλους στόχους, υπονοώντας ότι εστιάζοντας στην επίτευξη ευρύτερων στόχων κοινωνικής ισότητας η πρόοδος θα διαχυθεί και στους υπόλοιπους στόχους. Αλλά θα μπορούσε επίσης να αντικατοπτρίζει μια έλλειψη κατανόησης σχετικά με τις ευρύτερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε κοινωνικά

ζητήματα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μειωμένες ανισότητες κατατάσσονται πράγματι ψηλά στην ιεράρχηση των προτεραιοτήτων, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη δεν αγνοούν εντελώς τα ζητήματα ανισότητας, αλλά προτιμούν αυτό που θεωρούν πιο σημαντικό (ανάμεσα στην εν λόγω ομάδα).

Η συνολική ανάλυση δείχνει να αντικατοπτρίζει ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη επέλεξαν να δώσουν έμφαση σε ό,τι υποεκπροσωπείται μέχρι σήμερα στις μελέτες μοντελοποίησης (π.χ. SDG 14 και 15), αντί για πτυχές που εξ ορισμού περιλαμβάνονται σε αυτές τις μελέτες (π.χ. SDG8). Παρά την ευρέως αναγνωρισμένη σημασία του τελευταίου για την προώθηση της βιώσιμης εργασίας και ανάπτυξης, το αποτέλεσμα αυτό ενδυναμώνει τη συζήτηση σχετικά με το κατά πόσον η κυριαρχία του στόχου για οικονομική ανάπτυξη στο SDG 8 επικαλύπτει τον δεύτερο κυρίαρχο στόχο για αξιοπρεπή εργασία και άρα δύναται να οδηγεί σε σύγκρουση με ολόκληρη την ίδια ατζέντα του στόχου (Rai et al., 2019).

Για να αυξηθεί η αξιοπιστία της τελικής υπολογιζόμενης κατάταξης, μετρήθηκε επίσης το επίπεδο συναίνεσης, σε ποσοστό 81.4%, υποδεικνύοντας σημαντικό επίπεδο ομοφωνίας παρά τις κατά περιπτώσεις αποκλίσεις των ενδιαφερόμενων μερών σε συγκεκριμένα ζητήματα, ενισχύοντας το αποτέλεσμα ότι τα τέσσερα SDG που προσδιορίστηκαν με υψηλή αξιολόγηση είναι οι προτιμήσεις της πλειοψηφίας. Η πιο αξιοσημείωτη απόκλιση εντοπίζεται στα αποτελέσματα των μελών που εκπροσωπούν εθνικές κυβερνήσεις, με τις αξιολογήσεις τους να επικεντρώνονται στο κατώτερο άκρο της κλίμακας, υπονοώντας ότι η ομάδα αυτή μπορεί να υπερεκτιμά την πρόοδο που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα. Ενώ η ομοφωνία της ομάδας με την συλλογική λύση ήταν κάτω από το μέσο όρο, η εσωτερική ομοφωνία της ομάδας ήταν πολύ υψηλή γύρω στο 87%. Με τις ανησυχίες να αυξάνονται σχετικά με την πρόοδο όσον αφορά την επίτευξη των στόχων (Sachs et al., 2019), το αποτέλεσμα αυτό εγείρει το ερώτημα εάν οι εθνικές κυβερνήσεις δεσμεύονται πλήρως για την επίτευξη βιωσιμότητας και την υλοποίηση της Ατζέντας 2030.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια μεγάλης κλίμακας διαδικτυακή έρευνα για τον ρόλο των GCI συγκεντρώνοντας τις απόψεις από πάνω από 250 ειδικούς στη βιωσιμότητα, απαντώντας στην κατεύθυνση που έδωσαν οι συμμετέχοντες για την ανάγκη κατανόησης του ρόλου των GCI και της πιθανότητας αυτά να μην είναι διαθέσιμα έγκαιρα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι σημαντικός ο ρόλος των καινοτομιών από την πλευρά της ζήτησης τα οποία συστηματικά έλαβαν υψηλές βαθμολογίες δείχνοντας ότι ενσωματώσουν ένα αξιοσημείωτο δυναμικό

μετριασμού, χαμηλό ρίσκο στο να μην αναπτυχθούν και επίσης αναμένεται να είναι έγκαιρα διαθέσιμα ή ακόμα και να είναι ήδη. Ξεχώρισαν στις αναλύσεις ζητήματα που αφορούν τον τομέα των μετακινήσεων και ζητήματα αναφορικά με την βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης των κτηρίων, το οποίο εκ των υστέρων αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντικό εξαιτίας της πρόσφατης ενεργειακής κρίσης. Τεχνολογικά, ξεχώρισαν οι χαμηλές επιδόσεις τεχνολογιών που λαμβάνουν προσοχή σε ασκήσεις μοντελοποίησης όπως τα DAC, αλλά και η πυρηνική σύντηξη, με τις καθυστερήσεις στην διαθεσιμότητα αυτών των τεχνολογιών να απομακρύνουν τους ειδικούς από το να τα αξιολογήσουν υψηλά. Αντίθετα, τεχνολογίες όπως το υδρογόνο για τη βιομηχανία, και άλλες λύσεις του τομέα της βιομηχανίας έλαβαν υψηλές βαθμολογίες κάτι που συνάδει με την κοινωνικοτεχνική μας ανάλυση για τον τομέα (Κεφάλαιο 3).

Συνολικά τα αποτελέσματα τροφοδοτούν τη γνώση που παράγεται από τη διαδικασία συνδιαμόρφωσης της Ενότητας ΙΙΙ για να καθοδηγήσουν την συνέχεια του τόμου καθώς και η τοποθέτηση τους κάτω από το πρίσμα των κρίσεων (το εργαστήριο πραγματοποιήθηκε οριακά πριν από την κρίση της COVID-19), αλλά μπορούν να αξιοποιηθούν και ανεξάρτητα για εξειδικευμένες αναλύσεις με βάση στοχευμένες απόψεις των συμμετεχόντων.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 7

Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. Climatic change, 95(3-4), 297-315.

Ahmed, F., & Mishra, V. (2020). Estimating relative immediacy of water-related challenges in Small Island Developing States (SIDS) of the Pacific Ocean using AHP modeling. Modeling Earth Systems and Environment, 6(1), 201-214.

Ahmed, W., Tan, Q., Shaikh, G. M., Waqas, H., Kanasro, N. A., Ali, S., & Solangi, Y. A. (2020a). Assessing and Prioritizing the Climate Change Policy Objectives for Sustainable Development in Pakistan. Symmetry, 12(8), 1203.

Ahmed, W., Tan, Q., Solangi, Y. A., & Ali, S. (2020b). Sustainable and Special Economic Zone Selection under Fuzzy Environment: A Case of Pakistan. Symmetry, 12(2), 242.

Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. Sustainable Materials and Technologies, 26, e00213.

Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2017). Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation. Applied energy, 185, 862-871.

Ben-Arieh, D., & Chen, Z. (2006). Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 36(3), 558-568.

Brinkerhoff, J., Smith, S., & Teegen, H. (2007). NGOs and the Millennium Development Goals: citizen action to reduce poverty. New York: Palgrave Macmillan.

Bryan, B. A., Hadjikakou, M., & Moallemi, E. A. (2019). Rapid SDG progress possible. Nature Sustainability, 2(11), 999-1000.

Budiman, E., Dengen, N., & Indrawan, W. (2017, October). Integrated multi criteria decision making for a destitute problem. In 2017 3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech) (pp. 342-347). IEEE.

Byers, E., Gidden, M., Leclère, D., Balkovic, J., Burek, P., Ebi, K., ... & Johnson, N. (2018). Global exposure and vulnerability to multi-sector development and climate change hotspots. Environmental Research Letters, 13(5), 055012.

Capellán-Pérez, I., de Blas, I., Nieto, J., de Castro, C., Miguel, L. J., Carpintero, Ó., ... & Frechoso, F. (2020). MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints. Energy & Environmental Science, 13(3), 986-1017.

Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International journal of production economics, 102(2), 289-301.

Chen, X., Qu, K., Calautit, J., Ekambaram, A., Lu, W., Fox, C., ... & Riffat, S. (2020). Multi-criteria assessment approach for a residential building retrofit in Norway. Energy and Buildings, 215, 109668.

Choi, D., Ahn, Y. H., & Choi, D. G. (2020). Multi-criteria decision analysis of electricity sector transition policy in Korea. Energy Strategy Reviews, 29, 100485.

D'agata, S., Darling, E. S., Gurney, G. G., McClanahan, T. R., Muthiga, N. A., Rabearisoa, A., & Maina, J. M. (2020). Multiscale determinants of social adaptive capacity in small-scale fishing communities. Environmental Science & Policy, 108, 56-66.

Dagnachew, A. G., Lucas, P. L., Hof, A. F., & van Vuuren, D. P. (2018). Trade-offs and synergies between universal electricity access and climate change mitigation in Sub-Saharan Africa. Energy Policy, 114, 355-366.

Dalla Longa, F., & van der Zwaan, B. (2017). Do Kenya's climate change mitigation ambitions necessitate large-scale renewable energy deployment and dedicated low-carbon energy

policy?. Renewable Energy, 113, 1559-1568.
D'Alpaos, C., & Andreolli, F. (2020). Urban quality in the city of the future: A bibliometric multicriteria assessment model. Ecological Indicators, 117, 106575.
Deshpande, P. C., Skaar, C., Brattebø, H., & Fet, A. M. (2020). Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway. Science of the Total Environment, 137353.
Diaz-Sarachaga, J. M., Jato-Espino, D., & Castro-Fresno, D. (2017). Methodology for the development of a new Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC). Environmental Science & Policy, 69, 65-72.
Diemuodeke, E. O., Addo, A., Oko, C. O. C., Mulugetta, Y., & Ojapah, M. M. (2019). Optimal mapping of hybrid renewable energy systems for locations using multi-criteria decision-making algorithm. Renewable Energy, 134, 461-477.
Dioha, M. O., & Kumar, A. (2020). Sustainable energy pathways for land transport in Nigeria. Utilities Policy, 64, 101034.Michaelis, P., & Wirths, H. (2020). DICE-RD: an implementation of rate-related damages in the DICE model. Environmental Economics and Policy Studies, 1-30.
Doelman, J. C., Stehfest, E., Tabeau, A., & van Meijl, H. (2019). Making the Paris agreement climate targets consistent with food security objectives. Global Food Security, 23, 93-103.
Doelman, J. C., Stehfest, E., van Vuuren, D. P., Tabeau, A., Hof, A. F., Braakhekke, M. C., ... & van Meijl, H. (2020). Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs. Global Change Biology, 26(3), 1576-1591. doi: 10.1016/j.jup.2020.101034"
Dong, Y., Zhao, S., Zhang, H., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2018). A self-management mechanism for noncooperative behaviors in large-scale group consensus reaching processes. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 26(6), 3276-3288.
Dooley, K., Christoff, P., & Nicholas, K. A. (2018). Co-producing climate policy and negative emissions: trade-offs for sustainable land-use. Global Sustainability, 1.
Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision support models in climate policy. European Journal of Operational Research, 280(1), 1-24.
Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. Expert Systems with Applications, 37(7), 5491-5497.
Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: Delivering on the Paris Agreement. Sustainability, 10(7), 2299.
Doukas, H., Tsiousi, A., Marinakis, V., & Psarras, J. (2014). Linguistic multi-criteria decision making for energy and environmental corporate policy. Information Sciences, 258, 328-338.
Easterly, W. (2009). How the millennium development goals are unfair to Africa. World development, 37(1), 26-35.
F. Lanati, A. Gelmini and G. Viganò, (2019) "The evolution of the Italian power system in 2030 to support more than 55% of renewables on electricity consumption," 2019 AEIT International Annual Conference (AEIT), Florence, Italy, pp. 1-6, doi: 10.23919/AEIT.2019.8893430
Fuhrman, J., McJeon, H., Doney, S., Shobe, W., & Clarens, A. F. (2019). From Zero to Hero?: Why Integrated Assessment Modeling of Negative Emissions Technologies Is Hard and How We Can Do Better. Frontiers in Climate, 1, 11.
Fujimori, S., Hasegawa, T., Krey, V., Riahi, K., Bertram, C., Bodirsky, B. L., ... & van Vuuren, D. (2019). A multi-model assessment of food security implications of climate change mitigation. Nature Sustainability, 2(5), 386-396.
Fujimori, S., Hasegawa, T., Takahashi, K., Dai, H., Liu, J. Y., Ohashi, H., ... & Hijioka, Y. (2020). Measuring the sustainable development implications of climate change mitigation. Environmental Research Letters.
Fuss, S., Jones, C. D., Kraxner, F., Peters, G. P., Smith, P., Tavoni, M., ... & Moreira, J. R. (2016). Research priorities for negative emissions. Environmental Research Letters, 11(11),

115007.
Garcia-Casals, X., Ferroukhi, R., & Parajuli, B. (2019). Measuring the socio-economic footprint of the energy transition. Energy Transitions, 3(1-2), 105-118.
Gil, J. D., Daioglou, V., van Ittersum, M., Reidsma, P., Doelman, J. C., van Middelaar, C. E., & van Vuuren, D. P. (2019). Reconciling global sustainability targets and local action for food production and climate change mitigation. Global Environmental Change, 59, 101983.
Gil, L., Bernardo, J., (2020). An approach to energy and climate issues aiming at carbon neutrality, Renewable Energy Focus, Volume 33, Pages 37-42, ISSN 1755-0084, https://doi.org/10.1016/j.ref.2020.03.003.
Godinez, G., Victor-Gallardo, L., Angulo-Paniagua, J., Ramos, E., Howells, M., Usher, W., ... & Quirós-Tortós, J. (2020). How Modelling Tools Can Support Climate Change Policy: The Case of Costa Rica in the Energy Sector. Available at SSRN 3560584.
Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., . . . Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. Nature, 495(7441), 305.
Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., ... & Cullen, J. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 C target and sustainable development goals without negative emission technologies. Nature energy, 3(6), 515-527.
Gupta, A., & Singh, R. K. (2020). Developing a framework for evaluating sustainability index for logistics service providers: graph theory matrix approach. International Journal of Productivity and Performance Management.
Guzman-Sanchez, S., Jato-Espino, D., Lombillo, I., & Diaz-Sarachaga, J. M. (2018). Assessment of the contributions of different flat roof types to achieving sustainable development. Building and Environment, 141, 182-192.
Haga, C., Maeda, M., Hotta, W., Inoue, T., Matsui, T., Machimura, T., ... & Saito, O. (2020). Scenario Analysis of Renewable Energy–Biodiversity Nexuses Using a Forest Landscape Model. Frontiers in Ecology and Evolution, 8, 155.
Hameed, H. B., Ali, Y., & Petrillo, A. (2020). Environmental risk assessment of E-waste in developing countries by using the modified-SIRA method. Science of The Total Environment, 138525.
Hassan, M., Khan Afridi, M., & Irfan Khan, M. (2019). Energy policies and environmental security: A multi-criteria analysis of energy policies of Pakistan. International Journal of Green Energy, 16(7), 510-519.
Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. IEEE Transactions on fuzzy systems, 8(6), 746-752.
Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Verdegay, J.L. (1996). A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. Fuzzy sets and Systems, 78(1), 73-87.
Herrera-Viedma, E., Herrera, F., & Chiclana, F. (2002). A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 32(3), 394-402.
Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. Science of the total environment, 409(19), 3578-3594.
Humpenöder, F., Popp, A., Bodirsky, B. L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., ... & Rolinski, S. (2018). Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs?. Environmental Research Letters, 13(2), 024011.
Iyer, G., Calvin, K., Clarke, L., Edmonds, J., Hultman, N., Hartin, C., ... & Pizer, W. (2018). Implications of sustainable development considerations for comparability across nationally determined contributions. Nature Climate Change, 8(2), 124-129.
Jakob, M., Edenhofer, O., Kornek, U., Lenzi, D., & Minx, J. (2019). Governing the Commons to Promote Global Justice-Climate Change Mitigation and Rent Taxation.

Jamal, T., Urmee, T., & Shafiullah, G. M. (2020). Planning of off-grid power supply systems in remote areas using multi-criteria decision analysis. Energy, 117580.

Johnson, N., Burek, P., Byers, E., Falchetta, G., Flörke, M., Fujimori, S., ... & Langan, S. (2019). Integrated solutions for the water-energy-land nexus: Are global models rising to the challenge?. Water, 11(11), 2223.

Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. Expert Systems with Applications, 40(4), 1003-1013.

Kacprzyk, J., & Fedrizzi, M. (1986). Soft'consensus measures for monitoring real consensus reaching processes under fuzzy preferences. Control and Cybernetics, 15(3-4), 309-323.

Kearney, P. (2019). Re: Submission on Ireland's Draft National Energy and Climate Plan 2021-2030.

Köberle, A. C., Rochedo, P. R., Lucena, A. F., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2020). Brazil's emission trajectories in a well-below 2° C world: the role of disruptive technologies versus land-based mitigation in an already low-emission energy system. Climatic Change, 162(4), 1823-1842.

Krey, V., Guo, F., Kolp, P., Zhou, W., Schaeffer, R., Awasthy, A., ... & He, C. (2019). Looking under the hood: A comparison of techno-economic assumptions across national and global integrated assessment models. Energy, 172, 1254-1267.

Krohling, R. A., & Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. Expert Systems with applications, 38(4), 4190-4197.

Labella, Á., Koasidis, K., Nikas, A., Arsenopoulos, A., & Doukas, H. (2020). APOLLO: A Fuzzy Multi-criteria Group Decision-Making Tool in Support of Climate Policy. International Journal of Computational Intelligence Systems, 13(1), 1539-1553.

Lehner, A., Erlacher, C., Schlögl, M., Wegerer, J., Blaschke, T., & Steinnocher, K. (2018). Can iso-defined urban sustainability indicators be derived from remote sensing: An expert weighting approach. Sustainability, 10(4), 1268.

Linkov, I., Satterstrom, F. K., Kiker, G., Seager, T. P., Bridges, T., Gardner, K. H., ... & Meyer, A. (2006). Multicriteria decision analysis: a comprehensive decision approach for management of contaminated sediments. Risk Analysis: An International Journal, 26(1), 61-78.

Liu, J. Y., Fujimori, S., Takahashi, K., Hasegawa, T., Wu, W., Takakura, J. Y., & Masui, T. (2019). Identifying trade-offs and co-benefits of climate policies in China to align policies with SDGs and achieve the 2° C goal. Environmental Research Letters, 14(12), 124070.

Lucas, P. L., Hilderink, H. B., Janssen, P. H., Samir, K. C., van Vuuren, D. P., & Niessen, L. (2019). Future impacts of environmental factors on achieving the SDG target on child mortality—A synergistic assessment. Global Environmental Change, 57, 101925.

Luderer, G., Pehl, M., Arvesen, A., Gibon, T., Bodirsky, B. L., de Boer, H. S., ... & Hertwich, E. G. (2019). Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. Nature communications, 10(1), 1-13.

Martinez, L., & Herrera, F. (2012). An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. Information Sciences, 207, 1-18.

Mascarenhas, A., Nunes, L. M., & Ramos, T. B. (2014). Exploring the self-assessment of sustainability indicators by different stakeholders. Ecological indicators, 39, 75-83.

McCollum, D. L., Echeverri, L. G., Busch, S., Pachauri, S., Parkinson, S., Rogelj, J., ... & Riahi, K. (2018a). Connecting the sustainable development goals by their energy inter-linkages. Environmental Research Letters, 13(3), 033006.

McCollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C., De Boer, H. S., Bosetti, V., Busch, S., ... & Fricko, O. (2018b). Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. Nature Energy, 3(7), 589-599.

Napp, T. A., Few, S., Sood, A., Bernie, D., Hawkes, A., & Gambhir, A. (2019). The role of advanced

demand-sector technologies and energy demand reduction in achieving ambitious carbon budgets. Applied energy, 238, 351-367.

Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2020). Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131, 109988.

Nerini, F., Hughes, N., Cozzi, L., Cosgrave, E., Howells, M., Sovacool, B., ... & Milligan, B. (2018). Shore up support for climate action using SDGs. Nature, 557(7703), 31-31.

Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018a). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. Heliyon, 4(3), e00588.

Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019). A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. In Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy (pp. 1-54). Springer, Cham.

Nikas A., Gambhir A., Trutnevyte E., Koasidis K., Lund H., Thellufsen J.Z., Mayer D., Zachmann G., Miguel L.J., Ferreras-Alonso N., Sognnaes I., Peters G.P., Colombo E., Howells M., Hawkes A., van den Broek M., Van de Ven D.J., Gonzalez-Eguino M., Flamos A., & Doukas H. (2021). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. Energy, 215, 119153.

Nikas, A., Lieu, J., Sorman, A., Gambhir, A., Turhan, E., Baptista, B. V., & Doukas, H. (2020). The desirability of transitions in demand: Incorporating behavioural and societal transformations into energy modelling. Energy Research & Social Science, 70, 101780.

Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2018b). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. Environmental Innovation and Societal Transitions.

Nilsson, M., Griggs, D., & Visbeck, M. (2016). Policy: map the interactions between Sustainable Development Goals. Nature, 534(7607), 320-322.

O'Neill, B. C., Jiang, L., Samir, K. C., Fuchs, R., Pachauri, S., Laidlaw, E. K., ... & Ren, X. (2020). The effect of education on determinants of climate change risks. Nature Sustainability, 1-9.

Palomares, I., Estrella, F. J., Martínez, L., & Herrera, F. (2014). Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study. Information Fusion, 20, 252-271.

Palomares, I., Martinez, L., & Herrera, F. (2013). A consensus model to detect and manage noncooperative behaviors in large-scale group decision making. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 22(3), 516-530.

Parkinson, S., Krey, V., Huppmann, D., Kahil, T., McCollum, D., Fricko, O., ... & Raptis, C. (2019). Balancing clean water-climate change mitigation trade-offs. Environmental Research Letters, 14(1), 014009.

Phonphoton, N., & Pharino, C. (2019). Multi-criteria decision analysis to mitigate the impact of municipal solid waste management services during floods. Resources, Conservation and Recycling, 146, 106-113.

Portugal-Pereira, J., Koberle, A., Lucena, A. F., Rochedo, P. R., Império, M., Carsalade, A. M., ... & Rafaj, P. (2018). Interactions between global climate change strategies and local air pollution: lessons learnt from the expansion of the power sector in Brazil. Climatic Change, 148(1-2), 293-309.

Rafaj, P., Kiesewetter, G., Gül, T., Schöpp, W., Cofala, J., Klimont, Z., ... & Cozzi, L. (2018). Outlook for clean air in the context of sustainable development goals. Global Environmental Change, 53, 1-11.

Rai, S. M., Brown, B. D., & Ruwanpura, K. N. (2019). SDG 8: Decent work and economic growth–A gendered analysis. World Development, 113, 368-380.

Rampasso, I. S., Siqueira, R. G., Anholon, R., Silva, D., Quelhas, O. L. G., Leal Filho, W., & Brandli, L. L. (2019). Some of the challenges in implementing Education for Sustainable Development:

Perspectives from Brazilian engineering students. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 26(4), 367-376.
Ribas, A., Lucena, A. F., & Schaeffer, R. (2017). Bridging the energy divide and securing higher collective well-being in a climate-constrained world. Energy Policy, 108, 435-450.
Ribas, A., Lucena, A. F., & Schaeffer, R. (2019). Closing the energy divide in a climate-constrained world: A focus on the buildings sector. Energy and Buildings, 199, 264-274.
Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., ... & Lawrence, D. (2019). Contribution of the land sector to a 1.5 C world. Nature Climate Change, 1-12.
Rosenzweig, C., Arnell, N. W., Ebi, K. L., Lotze-Campen, H., Raes, F., Rapley, C., ... & Schewe, J. (2017). Assessing inter-sectoral climate change risks: the role of ISIMIP. Environmental Research Letters, 12(1), 010301.
Sachs, J. D. (2012). From millennium development goals to sustainable development goals. The Lancet, 379(9832), 2206-2211.
Sachs, J. D., & McArthur, J. W. (2005). The millennium project: a plan for meeting the millennium development goals. The Lancet, 365(9456), 347-353.
Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2019): Sustainable Development Report 2019. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN).
Sanneh, E. S. (2018). Climate Change Adaption. In Systems Thinking for Sustainable Development (pp. 41-53). Springer, Cham.
Scholten, L., Maurer, M., & Lienert, J. (2017). Comparing multi-criteria decision analysis and integrated assessment to support long-term water supply planning. PloS one, 12(5), e0176663.
Shem, C., Simsek, Y., Hutfilter, U. F., & Urmee, T. (2019). Potentials and opportunities for low carbon energy transition in Vietnam: A policy analysis. Energy Policy, 134, 110818.
Shmelev, S. E., & Van Den Bergh, J. C. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 679-691.
Sohaib, O., Naderpour, M., Hussain, W., & Martinez, L. (2019). Cloud computing model selection for e-commerce enterprises using a new 2-tuple fuzzy linguistic decision-making method. Computers & Industrial Engineering, 132, 47-58.
Soni, V., Anand, R., Dey, P. K., Dash, A. P., & Banwet, D. K. (2017a). Quantifying e-governance efficacy towards Indian–EU strategic dialogue. Transforming Government: People, Process and Policy.
Taliotis, C., Giannakis, E., Karmellos, M., Fylaktos, N., & Zachariadis, T. (2020). Estimating the economy-wide impacts of energy policies in Cyprus. Energy Strategy Reviews, 29, 100495.
Tatarewicz, I., Lewarski, M., & Skwierz, S. (2019). SCENARIOS OF LOW-EMISSION ENERGY SECTOR FOR POLAND AND THE EU UNTIL 2050.
Ullah, K., Hamid, S., Mirza, F. M., & Shakoor, U. (2018). Prioritizing the gaseous alternatives for the road transport sector of Pakistan: A multi criteria decision making analysis. Energy, 165, 1072-1084.
UNESCO. (2017). Climate Change and Gender Equality. Retrieved from: http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/priority-areas/gender-and-science/cross-cutting-issues/climate-change-and-gender-equality/
United Nations. (2000). Millennium Summit (6-8 September 2000). Retrieved from https://www.un.org/en/events/pastevents/millennium_summit.shtml
Van de Ven, D. J., Sampedro, J., Johnson, F. X., Bailis, R., Forouli, A., Nikas, A., ... & Doukas, H. (2019). Integrated policy assessment and optimisation over multiple sustainable development goals in Eastern Africa. Environmental Research Letters, 14(9), 094001.

van der Zwaan, B., & Dalla Longa, F. (2019). Integrated assessment projections for global geothermal energy use. Geothermics, 82, 203-211.

van der Zwaan, B., Kober, T., Dalla Longa, F., van der Laan, A., & Kramer, G. J. (2018). An integrated assessment of pathways for low-carbon development in Africa. Energy Policy, 117, 387-395.

van Soest, H. L., van Vuuren, D. P., Hilaire, J., Minx, J. C., Harmsen, M. J., Krey, V., ... & Luderer, G. (2019). Analysing interactions among sustainable development goals with integrated assessment models. Global Transitions, 1, 210-225.

Vandyck, T., Keramidas, K., Kitous, A., Spadaro, J. V., Van Dingenen, R., Holland, M., & Saveyn, B. (2018). Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. Nature communications, 9(1), 1-11.

von Stechow, C., Minx, J. C., Riahi, K., Jewell, J., McCollum, D. L., Callaghan, M. W., ... & Baiocchi, G. (2016). 2° C and SDGs: united they stand, divided they fall?. Environmental Research Letters, 11(3), 034022.

Wachsmuth, J., Denishchenkova, A., Fekete, H., Parra, P., Schaeffer, M., Ancygier, A., & Sferra, F. (2019). Fairness-and cost-effectiveness-based approaches to effort-sharing under the Paris agreement (No. S04/2019). Working Paper Sustainability and Innovation.

Wilson, C., Pettifor, H., Cassar, E., Kerr, L., & Wilson, M. (2019). The potential contribution of disruptive low-carbon innovations to 1.5 C climate mitigation. Energy Efficiency, 12, 423-440.

Wu, T., Song, H., Wang, J., & Friedler, E. (2020). Framework, Procedure, and Tools for Comprehensive Evaluation of Sustainable Stormwater Management: A Review. Water, 12(5), 1231.

Yoon, K., & Hwang, C. L. (1981). TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)–a multiple attribute decision making, w: Multiple attribute decision making–methods and applications, a state-of-the-at survey. Berlin: Springer Verlag.

Zeug, W., Bezama, A., Moesenfechtel, U., Jähkel, A., & Thrän, D. (2019). Stakeholders' interests and perceptions of bioeconomy monitoring using a sustainable development goal framework. Sustainability, 11(6), 1511.

Zhou, W., McCollum, D. L., Fricko, O., Fujimori, S., Gidden, M., Guo, F., ... & Liu, C. (2020). Decarbonization pathways and energy investment needs for developing Asia in line with 'well below'2° C. Climate Policy, 20(2), 234-245.

Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 11(4-5), 167-186.

Κεφάλαιο 8. Απόψεις ενδιαφερόμενων μερών γύρω από την απανθρακοποίηση και τη βιωσιμότητα στην Κένυα

8.1 Εισαγωγή

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να διαφέρουν ανάλογα με τα διαφορετικά γεωγραφικά/περιβαλλοντικά πλαίσια, καθώς και ανάλογα με την πρόοδο της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης ανά την υφήλιο. Αυτές οι διαφορετικές επιπτώσεις επηρεάζουν την ανάγκη και την ικανότητα των χωρών να μετριάσουν ή/και να προσαρμοστούν στην κλιματική κρίση με άνισο τρόπο, καθιστώντας αναγκαία την ευθυγράμμιση των εθνικών και περιφερειακών προτεραιοτήτων με το τοπικό πλαίσιο εντός του οποίου καλούνται να δραστηριοποιηθούν. Εστιάζοντας τη συζήτηση στις αναπτυσσόμενες χώρες της Αφρικής, η κλιματική αλλαγή θεωρείται σημαντική πρόκληση λόγω των ιδιαίτερων κοινωνικοοικονομικών (Ochieng et al., 2016; Sanneh, 2018), κλιματικών και γεωγραφικών παραγόντων (Sanneh, 2018) στην περιοχή. Η Συμφωνία του Παρισιού και η Ατζέντα του 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, που θεσπίστηκαν αμφότερες το 2015, ενσωματώνουν αλληλένδετους στόχους και κατευθυντήριες γραμμές για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης σε συνδυασμό με τη βιώσιμη ανάπτυξη (Nikas et al., 2021b), όπως συζητήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Για τον αναπτυσσόμενο κόσμο ωστόσο η επίτευξη αυτών των στόχων υπερβαίνει την προσανατολισμένη στον μετριασμό εστίαση των ανεπτυγμένων χωρών. Πολλές χώρες στην περιοχή της Αφρικής έχουν ήδη ξεκινήσει τον συντονισμό και τη δρομολόγηση μηχανισμών διακυβέρνησης για την υλοποίηση των SDGs, με τον καθορισμό αντίστοιχων σχεδίων δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Allen et al., 2018). Ωστόσο, η πρόοδος προς την αειφόρο ανάπτυξη εξακολουθεί να είναι περιορισμένη για πολλούς λόγους.

Για την Κένυα, ειδικότερα, ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην πρόοδο εντοπίζεται στην περιορισμένη πρόσβαση στην ενέργεια (Moner-Girona et al., 2018). Αυτό συμβαίνει, παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στο ποσοστό πρόσβασης στον ηλεκτρισμό στη χώρα την τελευταία δεκαετία (Taneja, 2018), το οποίο εκτινάχθηκε στο 84.5% το 2019 (IEA, 2020) από περίπου 20% στις αρχές της δεκαετίας του 2010 (Dagnachew et al., 2017; Schwerhoff and Sy, 2018), σε αντίθεση με την έλλειψη προόδου που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Αφρικής, όπου η πρόσβαση στον ηλεκτρισμό αυξήθηκε μέτρια από 23% σε λιγότερο από 40% την ίδια περίοδο (Dominguez et al., 2021). Το πρόβλημα αυτό παρατηρείται περαιτέρω στις αγροτικές περιοχές (Moner-Girona et al., 2019), ενώ εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες

σχετικά με την ικανότητα των αγροτικών νοικοκυριών να αντέξουν οικονομικά τις τρέχουσες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (Taneja, 2018). Οι ενεργειακές ανάγκες στην Κένυα βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε εναλλακτικά καύσιμα όπως η βιομάζα για μαγειρικούς σκοπούς και το πετρέλαιο στον τομέα των μεταφορών (Dalla Longa and van der Zwaan, 2017), καθώς υπάρχει ανεπαρκής ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με λιγότερο από 2GW εγκατεστημένης ισχύος πριν από μια δεκαετία και ελάχιστη πρόοδο έως το 2020 παραμένοντας ελαφρώς κάτω από τα 3GW (Kazimierczuk, 2019; IRENA, 2021), και ένα αναξιόπιστο και δαπανηρό δίκτυο (Winther et al., 2018). Αξίζει να σημειωθεί ότι η εξάρτηση από την παραδοσιακή βιομάζα είναι υψηλότερη στην Υποσαχάρια Αφρική (SSA) από ό, τι σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή (Leimbach et al., 2018), ενώ περισσότερα από τα μισά νοικοκυριά της Κένυας βασίζονται σε παραδοσιακές σόμπες βιομάζας για να καλύψουν τις ανάγκες μαγειρέματος, ένα ποσοστό ακόμη μεγαλύτερο στις αγροτικές περιοχές. Η πλειονότητα αυτών των πόρων βιομάζας εξορύσσεται με μη βιώσιμο τρόπο λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας και μιας τάσης προς τη χρήση ξυλάνθρακα, που απαιτεί περισσότερους πόρους βιομάζας ανά μονάδα τελικής ενέργειας (Bailis et al., 2015).

Πέρα από τον ενεργειακό τομέα, η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του εφοδιασμού τροφίμων στην Κένυα αντιμετωπίζει δυσκολίες, καθώς οι περισσότερες τοποθεσίες διαθέτουν κακές οικολογικές συνθήκες, όσον αφορά τους κοραλλιογενείς υφάλους και τα αλιευτικά πεδία, επηρεάζοντας πολλές παράκτιες κοινότητες που βασίζονται στην αλιεία (D'Agata et al., 2020). Σε μια άλλη διάσταση που αναδεικνύει την αλληλεπίδραση της κλιματικής αλλαγής και άλλων προτεραιοτήτων βιωσιμότητας, η υπερθέρμανση του πλανήτη απειλεί την παραγωγικότητα των αποδόσεων των καλλιεργειών και άρα ευρύτερα την αποδοτικότητα του γεωργικού τομέα (Mason-D'Croz et al., 2019), έναν από τους βασικούς πυλώνες της οικονομίας της Κένυας (Kogo et al., 2021). Αυτό, με τη σειρά του, απειλεί την ικανότητα των γεωργικών επιχειρήσεων να διασφαλίσουν την παραγωγικότητά τους και τη συνολική ικανότητά τους να προστατεύουν και να διατηρούν το τοπικό περιβάλλον (Norese et al., 2020). Τέτοιου είδους περιορισμοί έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα δεδομένου ότι ο τομέας της γεωργίας, της δασοκομίας και της χρήσης γης (AFOLU) παράγει το υψηλότερο ποσό (περίπου το μισό, το 2018) καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Climate Watch Historical GHG Emissions, 2021). Σε συνδυασμό με την ακραία φτώχεια και το πολύ χαμηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην ευρύτερη περιοχή (Leimbach et al., 2018), οι συνθήκες αυτές συμβάλλουν σε μια κακής και χαμηλής θερμιδικής ποιότητας διατροφή. Ειδικότερα, τα φαινόμενα διακοπής της ανάπτυξης σε παιδιά

κάτω των 5 ετών ήταν στο 35.2% το 2009, ενώ μειώθηκαν μόνο μέτρια σε 26.6 % το 2020 (World Health Organisation, 2015; Action Against Hunger, 2020).

Η έλλειψη πρόσβασης στην ενέργεια, η ακραία φτώχεια, η χαμηλή και μη ποιοτική κατανάλωση τροφίμων, η μη ασφαλής παροχή νερού και η ανεπαρκής αποχέτευση, καθώς και η εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν ως εκ τούτου προκαλέσει σημαντικά προβλήματα υγείας στην περιοχή, οδηγώντας σε υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Για παράδειγμα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σκοτώνει 60 ανά 100,000 κατοίκους, κυρίως λόγω κακών τεχνολογιών μαγειρέματος ή καυσίμων (Dagnachew et al., 2020). Και παρά την υψηλή ετοιμότητα εμβολιασμού (León et al., 2019), η Κένυα κατατάσσεται χαμηλά στην παιδική και μητρική υγεία (Luque et al., 2017), καθώς και στην παροχή καθαρού νερού (Hyvärinen et al., 2020) και αποχέτευσης (Lucas et al., 2019) στα παιδιά (π.χ., το 2008, οι διαρροϊκοί θάνατοι σε παιδιά κάτω των 15 ετών ανήλθαν περίπου στους 23,500; World Health Organisation, 2015).

Μέχρι στιγμής, η ανάλυση μετριασμού στην περιοχή έχει βασιστεί σε μεγάλο βαθμό σε μοντέλα κλίματος-οικονομίας και IAMs. Τέτοιες κατά κύριο λόγο βραχυπρόθεσμες αξιολογήσεις (παρά το μακροπρόθεσμο πλαίσιο των IAMs) που βασίζονται σε μοντέλα και αποσκοπούν στην ενημέρωση των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών (NDC) της Κένυας (και των γειτονικών χωρών) στις προσπάθειες για το κλίμα έχουν προτείνει διάφορες ενεργειακές τεχνολογικές λύσεις για την προώθηση μιας βιώσιμης πορείας αντιμετώπισης των πιο πιεστικών απειλών, όπως το βιοαέριο (Forouli et al., 2020), η γεωθερμία (Schwerhoff and Sy, 2018; Musonye et al., 2021) και μικροδίκτυα βασισμένα σε φωτοβολταϊκά (Dagnachew et al., 2017; 2018; Johannsen et al., 2020). Ωστόσο, έχουν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με την ικανότητα των αφρικανικών χωρών, και ιδίως στην περιοχή SSA, να επιτύχουν υψηλές επενδύσεις και διείσδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) (π.χ., Longa and van der Zwaan, 2017). Οι προβλέψεις, μεταξύ άλλων, τονίζουν ότι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που είναι προγραμματισμένοι να εγκατασταθούν/λειτουργήσουν για την επόμενη δεκαετία και το αναμενόμενο μικρό μερίδιο ΑΠΕ πέραν της υδροηλεκτρικής ενέργειας (Alova et al., 2021) θα καταστήσουν πιθανώς πολύ δυσκολότερη την επίτευξη των στόχων για το 2030 από ό,τι αναμενόταν αρχικά. Ταυτόχρονα, τα μοντέλα αυτά επικεντρώνονται συνήθως σε μετασχηματισμούς από την πλευρά της προσφοράς στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη κλιματικών στόχων (Creutzig et al., 2018), δίνοντας ελάχιστη προσοχή σε πτυχές από την πλευρά της ζήτησης και σε άλλους τομείς ή σε ευρύτερες διαστάσεις βιωσιμότητας. Ταυτόχρονα, τα μοντέλα

εξετάζουν πολύ ευρύτερες και συγκεντρωτικές περιφέρειες όσον αφορά την εκπροσώπηση χωρών της περιοχής. Ειδικότερα, η Κένυα συνήθως ομαδοποιείται διαφορετικά, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο IAM (π.χ. ως μέρος της Αφρικής στο σύνολό της, της Υποσαχάριας περιοχής ή της Ανατολικής Αφρικής), υπονομεύοντας έτσι το τοπικό πλαίσιο και τις ανάγκες (π.χ. την υψηλότερη πρόοδο όσον αφορά την πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια).

Λαμβάνοντας υπόψη το πολλές φορές χάσμα μεταξύ των προτιμήσεων των μοντέλων και του τι είναι εφικτό στην πράξη, ειδικά σε τέτοιες περιοχές, την κυρίαρχη εστίαση στον μετριασμό και όχι στον ευρύτερο χώρο βιωσιμότητας (ο οποίος μόλις πρόσφατα άρχισε να εφαρμόζεται στα μοντέλα, πχ., van Vuuren et al., 2022), καθώς και τις ασυνέπειες μεταξύ της γεωγραφικής λεπτομέρειας και των εθνικών προτεραιοτήτων πολιτικής, τα σενάρια που παράγονται μόνο από μελέτες μετριασμού βάσει μοντέλων μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε εθνικό επίπεδο. Η πολυπλοκότητα (Sachs et al., 2019) και οι περιορισμοί στις δυνατότητες μοντελοποίησης που σχετίζονται με κοινωνικούς στόχους (Allen et al., 2016), οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τα τελικά μείγματα πολιτικής, μπορούν επιπλέον να προκαλέσουν απροθυμία όταν η επιστημονική διαδικασία αποσπάται από τα ενδιαφερόμενα μέρη, τα οποία διστάζουν να αξιοποιήσουν τα αποτελέσματα στην πράξη (Doukas et al., 2018), ενώ αντίθετα ορθές πρακτικές συμμετοχικότητας μπορεί να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των εφαρμοσμένων πολιτικών (Leal Filho et al., 2018; Much and von Streit, 2020), να διευρύνουν τις θετικές κοινωνικές επιπτώσεις (Restrepo et al., 2020) και να βελτιώσουν την ευαισθητοποίηση και την αποδοχή του κοινού (Neofytoy et al., 2020), με την επιχειρησιακή έρευνα να παίζει κομβικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία (McCollum et al., 2018; Doukas and Nikas, 2020; Workman et al., 2020; Bonilla et al., 2021; da Ponte et al., 2021; Nhamo et al., 2020; Diaz-Sarachaga et al. 2017), όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όλα τα παραπάνω επιχειρήματα υπέρ της συμμετοχικότητας ενισχύονται σημαντικά αν λάβουμε υπόψιν ότι σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως για παράδειγμα της Αφρικής, οι απόψεις ενδιαφερόμενων μερών σπάνια λαμβάνουν σημαντικό μερίδιο στη δημόσια συζήτηση.

Το κεφάλαιο αυτό επιχειρεί να συνεργαστεί με τους ενδιαφερόμενους φορείς της Κένυας για να καταγράψει τις αντιλήψεις τους σχετικά με την ιεράρχηση της δράσης προς την επίτευξη των SDG αλλά και τα μονοπάτια απανθρακοποίησης σε επίπεδο τομέων, υπό το πρίσμα όλων αυτών των εξαιρετικά αλληλένδετων προκλήσεων βιωσιμότητας (Rosenthal et al., 2018) και του συνεχώς αυξανόμενου αριθμού των σχετικών πολιτικών που καταρτίστηκαν πρόσφατα από

την κυβέρνηση της Κένυας, ο όγκος των οποίων όμως δεν είναι βέβαιο ότι σε επίπεδο συντονισμού επιτυγχάνει τα βέλτιστα αποτελέσματα (βλέπε επόμενη παράγραφο). Η έρευνα αξιοποιεί το πλαίσιο της 2-tuple Group TOPSIS (Koasidis, et al., 2022; Labella et al., 2020) που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 7, και υποκινείται από την ανάγκη να καταγράψουμε τις οπτικές των τοπικών φορέων σχετικά με (α) ποια είναι τα θέματα που πρέπει να προτεραιοποιηθούν στο πολιτικό πλαίσιο της βιωσιμότητας της χώρας και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής; β) τι έχει επιτύχει το πλέον πρόσφατο εθνικό πλαίσιο πολιτικής; και γ) πώς μπορεί να αναδιαμορφωθεί η πολιτική κατεύθυνση της Κένυας, υπό το πρίσμα της αναμενόμενης επικαιροποίησης του εθνικού σχεδίου δράσης για το κλίμα.

8.2 Το περιβάλλον της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής της Κένυας

Η ενίσχυση της πρόσβασης στην ενέργεια συγκαταλέγεται στις σημαντικότερες προκλήσεις και προτεραιότητες της Κένυας. Τον Μάιο του 2004, νομοθετήθηκε η Εθνική Ενεργειακή Πολιτική (NEP), με στόχο την αύξηση της πρόσβασης στην ενέργεια με βιώσιμο τρόπο. Οι στόχοι της περιλάμβαναν την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας και της χρήσης ΑΠΕ μέσα από ιδιωτικές επενδύσεις (Ochieng et al., 2019; Olang and Esteban, 2017). Για χώρες όπως η Κένυα, η στροφή προς τις ΑΠΕ τόσο έγκαιρα δεν ήταν μια προσπάθεια μόνο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, αλλά κυρίως ένα μέσο και μια ευκαιρία για την αντιμετώπιση δομικών κοινωνικών προβλημάτων. Δύο χρόνια αργότερα, η κυβέρνηση εισήγαγε τον νόμο για την ενέργεια, καθιερώνοντας ρυθμιστικές αρχές για την επίτευξη των στόχων του NEP (Kiplagat and Wang, 2011), συμπεριλαμβανομένης της Ρυθμιστικής Επιτροπής Ενέργειας, για την αύξηση της διάδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Olang and Esteban, 2017) και της Αρχής Αγροτικής Ηλεκτροδότησης, για τη βελτίωση των επιπέδων πρόσβασης στην ενέργεια στις αγροτικές περιοχές, και την προώθηση της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης (Mutangili, 2021). Αυτή η σχέση μεταξύ πρόσβασης στην ενέργεια και κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης επισημάνθηκε επίσης το 2008, στον οδικό χάρτη της Κένυας για το 2030 (Kenya's Vision 2030), με στόχο την πλήρη ηλεκτροδότηση (δηλαδή ποσοστό πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια 100%) έως το 2030 (Saulo et al., 2010), την εκβιομηχάνιση της χώρας, την επίτευξη ενός βιώσιμου βιοτικού επιπέδου έως το 2030 (Andersen et al., 2021) και ενός ετήσιου ρυθμού ανάπτυξης 10% (Kieti et al., 2020), στόχοι οι οποίοι με τη σειρά τους απαιτούν πολλαπλές επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές (Rambo, 2013). Η σημασία της πρόσβασης στην ενέργεια για την οικονομική ανάπτυξη της Κένυας αντικατοπτρίζεται επίσης στο αναθεωρημένο Σύνταγμά της (το 2010), ιδίως μέσα από την αποκέντρωση της διακυβέρνησης σε διάφορες

περιφερειακές αρχές στην προσπάθεια επίτευξης πρόσβασης στην ενέργεια σε εθνικό επίπεδο (de Bercegol και Monstadt, 2018), καθώς και μέσα από πολλαπλές μεταρρυθμίσεις σε θεσμούς, όπως το δικαστικό σύστημα, για τη στήριξη των επενδύσεων σε ΑΠΕ. Οι μεταρρυθμίσεις αυτές κρίθηκαν επιτακτικές μετά τη μειωμένη ροή ξένων επενδύσεων ύστερα από τη μετεκλογική βία του 2007-2008 (Rambo, 2013). Η κυβέρνηση είχε επίσης εισάγει νομοθεσία για την περαιτέρω ρύθμιση του ενεργειακού τομέα, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης ενός συστήματος feed-in-tariffs το 2008 (αναθεωρημένο το 2010 και το 2012), για την ενίσχυση των επενδύσεων σε ΑΠΕ (Olang και Esteban, 2017), καθώς και των ενεργειακών κανονισμών του 2012 για τα φωτοβολταϊκά, την ηλιακή θέρμανση, τη διαχείριση ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση των νοικοκυριών (Yatich, 2018). Πιο πρόσφατες προσπάθειες για την επίτευξη του πρωταρχικού στόχου της χώρας για βελτίωση της πρόσβασης στην ενέργεια περιλαμβάνουν το γενικό πρόγραμμα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το μακροπρόθεσμο σχέδιο 2015-2030, την εθνική στρατηγική ηλεκτροδότησης του 2018 και τον Ενεργειακό Νόμο του 2019. Το πρώτο προτείνει ένα πλαίσιο που στοχεύει στην ενίσχυση του ανταγωνισμού στην παραγωγή και το λιανικό εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας και ρυθμίζει τις ιδιωτικές επενδύσεις σε ΑΠΕ, καθώς και τη συζήτηση για την εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας, μετά από μελέτες με αντικείμενο την εγκατάσταση πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής στον ποταμό Tana (Njeru et al., 2021; Muigia, 2020).

Η νομοθεσία της Κένυας είχε επικεντρωθεί κυρίως στην αύξηση της πρόσβασης στην ενέργεια και της οικονομικής ανάπτυξης, χωρίς να δίνει έμφαση στην κλιματική αλλαγή και τη βιωσιμότητα, μέχρι το 2010. Εκείνη την περίοδο η κυβέρνηση ευθυγραμμίστηκε με το Πρωτόκολλο του Κιότο και εισήγαγε την Εθνική Στρατηγική Αντιμετώπισης της Κλιματικής Αλλαγής (NCCRS) (Kwanya, 2013), επισημαίνοντας τις ήδη παρατηρούμενες επιπτώσεις στην αύξηση της θερμοκρασίας και τις χρονικά άτακτες καταστροφικές βροχοπτώσεις. Η NCCRS προώθησε μέτρα μετριασμού και προσαρμογής τα οποία ενσωματώθηκαν στον κυβερνητικό σχεδιασμό και τον προϋπολογισμό, εστιάζοντας σε στόχους όπως η ενεργειακή απόδοση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ο σχεδιασμός ενός χαμηλών εκπομπών τομέα μεταφορών (Kwanya, 2013). Πριν από τη συμφωνία του Παρισιού και την ατζέντα του ΟΗΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη με ορίζοντα το 2030, το 2013 εισήχθησαν δύο αξιοσημείωτα σχέδια: η εθνική περιβαλλοντική πολιτική εισήγαγε ευρέως ένα πλαίσιο για την προστασία των εθνικών πόρων και του περιβάλλοντος της Κένυας (Gichenje et al., 2019), αναγνωρίζοντας τη σημασία της ενέργειας στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, συμπεριλαμβάνοντας στόχους για καθαρότερη

παραγωγή ενέργειας, και το εθνικό σχέδιο δράσης για την κλιματική αλλαγή 2013-2017 (NCCAP), με βάση την NCCRS και το Vision 2030, θέτοντας στόχο μείωσης των εκπομπών CO2 κατά 30% έως το 2030, ο οποίος αυξήθηκε πρόσφατα σε 32% στην επικαιροποίηση του NDC της Κένυας το 2020 (έναντι γραμμής βάσης 143 MtCO2eq) (Munene, 2019; Brandt et al., 2018; UNFCCC, 2020), η επίτευξη του οποίου σχεδιαστικά αναμενόταν να στηριχθεί σε μεγάλο βαθμό στην αυξημένη διάχυση της γεωθερμικής ενέργειας (Dalla Longa and van der Zwaan, 2017).

Στοχεύοντας συγκεκριμένα στον μετριασμό, η Κένυα εισήγαγε επίσης πολιτικές και συμμετείχε σε διάφορες πρωτοβουλίες που δρομολογήθηκαν από μη κυβερνητικούς οργανισμούς. Για παράδειγμα, το 2013, φορείς όπως η GIZ, η SNV και η Παγκόσμια Συμμαχία για Καθαρές Εστίες Μαγειρέματος πρότειναν το Εθνικό Σχέδιο Δράσης ανά Χώρα (CAP), με στόχο την εγκατάσταση σύγχρονων εστιών μαγειρέματος σε 5 εκατομμύρια σπίτια στην Κένυα έως το 2020 (Petrickenko et al., 2020; Carvalho et al., 2020). Επιπλέον, η Κένυα συμμετέχει στην πρωτοβουλία SE4All του ΟΗΕ από το 2015, με στόχο την επίτευξη 100% πρόσβασης σε ηλεκτρική ενέργεια και σύγχρονες συσκευές μαγειρέματος, υψηλή ενεργειακή απόδοση και διάχυση ΑΠΕ έως το 2030 (Vezzoli et al., 2018). Την ίδια χρονιά, προτάθηκε το προσχέδιο της Στρατηγικής και Σχεδίου Δράσης για την Ανάπτυξη της βιοενέργειας και του υγραερίου στην Κένυα, με στόχο την αύξηση της διάδοσης του υγραερίου, σύγχρονων και αποδοτικών συστημάτων βιοενέργειας, καθώς και τη χρήση αποδοτικότερων εστιών μαγειρέματος έως το 2020 (Carvalho et al., 2019). Η επικαιροποίηση της στρατηγικής για τη βιοενέργεια το 2020 (για την περίοδο 2020-2027) αναγνωρίζει περαιτέρω τη σημασία της βιομάζας, οδεύοντας προς την τελευταία δεκαετία του πλαισίου των SDG.

Μετά τη Συμφωνία του Παρισιού η Κένυα το 2016, και λαμβάνοντας πιο δραστικά μέτρα, θέσπισε τον νόμο για την κλιματική αλλαγή και το εθνικό σχέδιο προσαρμογής της Κένυας. Ο πρώτος θέτει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την παρατήρηση της κλιματικής αλλαγής (π.χ. δημιουργία συμβουλίου κλιματικής αλλαγής), υποστηρίζει τις ιδιωτικές επενδύσεις προς την αντιμετώπιση της (Gannon et al., 2021) και τονίζει τη σημασία της προσαρμογής στις πολιτικές της χώρας (Mayer, 2021). Το δεύτερο βασίστηκε στην υλοποίηση του Vision 2030 σχετικά με τη βιωσιμότητα σε οικονομικές, πολιτικές και κοινωνικές πτυχές. Προτείνει επίσης συγκεκριμένες δράσεις για την προσαρμογή της χώρας στην κλιματική αλλαγή (Karani, 2020). Για να ενισχύσει περαιτέρω την προσπάθεια μετριασμού, η κυβέρνηση επέκτεινε το NCCAP για την περίοδο 2018-2022 για να επιτύχει τους στόχους με βάση το NDC της χώρας (Ageyo and

Muchunku, 2020), προτείνοντας επίσης ένα διαφοροποιημένο ενεργειακό μείγμα βασισμένο στη γεωθερμία, και την αιολική και ηλιακή ενέργεια, προτείνοντας περαιτέρω την υιοθέτηση τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης και έναν πιο φιλόδοξο (προαιρετικό) στόχο μείωσης των εκπομπών κατά 60% έως το 2030. Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η αναθεώρηση αυτή συνοδεύτηκε από μια αύξηση στις εκπομπές αναφοράς για το 2030 (οι αναπτυσσόμενες χώρες στο Annex-II του Κιότο υποβάλλουν στόχους στα NDC με βάση ένα θεωρητικό επίπεδο βάσης). Στο ίδιο πλαίσιο, το 2020 προτάθηκε η εθνική στρατηγική διατήρησης της ενεργειακής απόδοσης της Κένυας, η οποία περιλαμβάνει πέντε πυλώνες (νοικοκυριά, κτίρια, βιομηχανία και γεωργία, μεταφορές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ηλεκτρικής ενέργειας), ως ένα από τα πρώτα σχέδια της Κένυας που εστιάζουν ρητά στην ενεργειακή απόδοση.

Από την άποψη της βιωσιμότητας, εκτός από τη δράση για το κλίμα και την πρόσβαση στην ενέργεια, η Κένυα επικεντρώθηκε επίσης στη βιώσιμη γεωργία και την προστασία της βιοποικιλότητας. Οι κανόνες για τη γεωργία (γεωργική δασοκομία), που νομοθετήθηκαν το 2009, όρισαν ότι κάθε ιδιοκτήτης γης οφείλει να διατηρεί 10% δασική κάλυψη, για τη διατήρηση των δασών της χώρας (Chisika et al., 2019). Το 2012, η Κένυα πρότεινε τον Αγροτικό Νόμο, που συμπεριελάμβανε στόχους για τη βιωσιμότητα της γεωργίας με την προώθηση της προστασίας του εδάφους, της αποτελεσματικής διαχείρισης της γης και της ορθής κτηνοτροφίας. Ωστόσο, σε αντίθεση με τις ενεργειακές πολιτικές της ίδιας περιόδου, η νομοθεσία εδώ έδινε κυρίως προτεραιότητα στην οικονομική παρά στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα του τομέα. Πολύ αργότερα η κυβέρνηση νομοθέτησε τη στρατηγική της Κένυας για την έξυπνη γεωργία 2017-2026, προτείνοντας την ενσωμάτωση της επισιτιστικής ασφάλειας, της κλιματικής αλλαγής και της γεωργίας (Faling, 2020), ώστε να συμπεριλαμβάνονται στόχοι όπως ο μετριασμός των γεωργικών εκπομπών και η ενίσχυση της ανθεκτικότητας του τομέα στην κλιματική αλλαγή για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων τροφίμων (Waaswa et al., 2021). Τέλος, η κυβέρνηση της Κένυας νομοθέτησε την Εθνική Στρατηγική για την Άγρια Ζωή 2030, με στόχο την προστασία της άγριας ζωής της Κένυας από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η οποία είναι κρίσιμη από τουριστική άποψη (Kieti et al., 2020).

Με βάση αυτή την παραπάνω ανάλυση, το πολιτικό πλαίσιο της Κένυας γύρω από την βιωσιμότητα μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις φάσεις. Πρώτον, οι πρώιμες πολιτικές ενέργειας και οι ευρύτερες πολιτικές βιωσιμότητας (που σχετίζονται κυρίως με τη γεωργία) μεταξύ 2009 και 2013, οι οποίες αναγνώρισαν τις προκλήσεις της χώρας και προσπάθησαν να τις

αντιμετωπίσουν σύμφωνα με την οικονομική ανάπτυξη της χώρας, αλλά με χαμηλότερες φιλοδοξίες μετριασμού. Στη συνέχεια, κατά την περίοδο 2013-2017, η χώρα αύξησε τις φιλοδοξίες μετριασμού ή/και προσαρμογής, αλλά και πάλι το βασικό κίνητρο αφορούσε κυρίως την οικονομική βιωσιμότητα. Αντίθετα, στην τρίτη περίοδο από το 2017 έως το 2020 φάνηκε μια πιο ουσιαστική επιτάχυνση της ενσωμάτωσης της δράσης για το κλίμα σε βασικές νομοθεσίες, με αποτέλεσμα πολυάριθμες πολιτικές για τις ΑΠΕ, την ενεργειακή απόδοση, τη βιοενέργεια και την έξυπνη γεωργία που συνοδεύουν τα ευρύτερα σχέδια δράσης και στρατηγικές, πρωτοβουλίες οι οποίες φαίνεται να υποδηλώνουν την έναρξη μιας νέας περιόδου χάραξης πολιτικής. Ωστόσο, αυτός ο δαιδαλώδης όγκος στρατηγικών και νομοθεσιών έγινε αντικείμενο κριτικής όσον αφορά το κατά πόσο ήταν κατανοητό το πλαίσιο από τους πολίτες, οι οποίοι φαίνεται να στερούνται επαρκών πληροφοριών σχετικά με το κλίμα και τη βιωσιμότητα (Ageyo and Muchunku, 2020), εμποδίζοντας την αποτελεσματικότητα των πολιτικών, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με την περιορισμένη υιοθέτηση σύγχρονων και καθαρότερων τεχνολογιών μαγειρικής (Osiolo, 2021). Ως εκ τούτου, προχωρώντας σε αυτή τη δεκαετία, στην οποία είναι κομβική η επίτευξη των SDG καθώς η ολοκλήρωση του Vision 2030, η συνεργασία και η εμπλοκή με τους τοπικούς φορείς φαίνεται ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των σύγχρονων ζητημάτων στη χώρα, τα οποία θα μπορούσαν επίσης να ρίξουν φως ως προς την αποτελεσματικότητα όλων αυτών των πολιτικών (από τη σκοπιά των τοπικών φορέων). Καθώς οδεύουμε προς μια νέα περίοδο πολιτικής όπου εκκρεμεί η επικαιροποίηση του NCCAP για την περίοδο 2022-2027, η οποία θα είναι η τελική 5ετής αναθεώρηση του σχεδίου δράσης που θα περιλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου στο διάστημα πριν από το 2030, αυτή η διαδικασία θα μπορούσε να επιτρέψει την πραγματική συν-διακυβέρνηση μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών στη χώρα και να βοηθήσει στην αποφυγή αναποτελεσματικών πρακτικών του παρελθόντος και στη διαμόρφωση μελλοντικών νομοθεσιών.

8.3 Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης, πραγματοποιήθηκε στις 28 Οκτωβρίου 2020 εργαστήριο με τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών και εμπειρογνωμόνων από την Κένυα. Στο εργαστήριο, το οποίο πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά λόγω των περιορισμών που οδήγησε η νόσος COVID-19 στα ταξίδια και τη διοργάνωση εκδηλώσεων, 23 ενδιαφερόμενα μέρη συμμετείχαν σε ειδική συνεδρία και ζωντανή ψηφοφορία, προκειμένου να συνεισφέρουν α) στην αξιολόγηση των προτεραιοτήτων απανθρακοποίησης σε επίπεδο τομέων όσον αφορά τη συμβολή στη βιώσιμη ανάπτυξη; και β) στην αξιολόγηση των προτεραιοτήτων επίτευξης των

SDG στο πλαίσιο της δράσης της χώρας για το κλίμα. Ενδιαφερόμενοι συμμετέχοντες προσκλήθηκαν από επαφές του Τεχνικού Πανεπιστημίου της Μομπάσα (TUM), με κριτήριο το πεδίο εφαρμογής της άσκησης (έμφαση στους ειδικούς στον τομέα της βιωσιμότητας). Ειδικότερα, για να διασφαλιστεί ότι η επιλογή αυτή είναι όσο το δυνατόν πιο αντικειμενική, η αρχική βάση δεδομένων επαφών του TUM ελέγχθηκε για να εντοπιστούν τα ενδιαφερόμενα μέρη που πληρούν τα ακόλουθα κριτήρια: i) κατάλληλο επίπεδο επαγγελματικών γνώσεων και δεξιοτήτων (ιδίως όσον αφορά την απανθρακοποίηση ή/και τη βιώσιμη ανάπτυξη); ii) γνώση της αγγλικής γλώσσας (η οποία χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο και στο ερωτηματολόγιο); iii) γνώση και εμπειρία στο περιβάλλον χάραξης πολιτικής και την ανάπτυξη της Κένυας. Αν και η χρήση μιας πανεπιστημιακής βάσης δεδομένων ως αφετηρίας παρουσιάζει τον κίνδυνο δημιουργίας ενός κυρίως ακαδημαϊκού δείγματος, ο κίνδυνος αυτός μετριάστηκε σε δύο επίπεδα: πρώτον, θεσπίστηκε ένα όριο για να διασφαλιστεί ότι λιγότεροι από τους μισούς συμμετέχοντες προέρχονταν από τον ακαδημαϊκό χώρο. Δεύτερον, πραγματοποιήθηκε επίσης ανάλυση με βάση την προέλευση των συμμετεχόντων (ανά ομάδα) για να συνοδεύσει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, και να ρίξει φως στις διαφορές που προκύπτουν ανάμεσα στους συμμετέχοντες με διαφορετικό υπόβαθρο. Καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια για να διασφαλιστεί ότι υπάρχει επαρκής αριθμός συμμετεχόντων και ανταποκρινόμενων στα ερωτηματολόγια, ώστε να ξεπεραστεί το θεωρητικό όριο στο πεδίο ομαδικής λήψης αποφάσεων για την ταξινόμηση του προβλήματος ως μεγάλης κλίμακας ομαδική λήψη αποφάσεων (LCGDM) (Xu et al., 2015; Zhang et al., 2017). Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν ότι οι ψήφοι τους θα ήταν ανώνυμες και ότι η πληροφορία για το εργασιακό τους υπόβαθρο, που συλλέχθηκε κατά τη διάρκεια της ψηφοφορίας, θα χρησιμοποιηθεί για συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με τους συμμετέχοντες.

Κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου, ζητήθηκε από τα ενδιαφερόμενα μέρη να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους σε δύο ερωτηματολόγια που συμπληρώθηκαν μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας δημοσκοπήσεων sli.do, όσον αφορά την ιεράρχηση της αναγκαιότητας για προτεραιοποίηση στην απανθρακοποίηση τομέων στην Κένυα ανά τομέα, με βάση κριτήρια βιώσιμης ανάπτυξης; και τη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως εκφράζεται μέσα από τα διαφορετικά SDG, με βάση κριτήρια που αφορούν τη δράση για το κλίμα στη χώρα. Τα ερωτηματολόγια επέτρεψαν στους ενδιαφερόμενους να χρησιμοποιήσουν οικείους γλωσσικούς όρους, πιο εύκολα κατανοητούς στους συμμετέχοντες (Doukas et al., 2010).

Στο πρώτο ερωτηματολόγιο, τα ενδιαφερόμενα μέρη κλήθηκαν να αξιολογήσουν τη σημασία της απανθρακοποίησης έξι τομέων: της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (POWER), της γεωργίας, της δασοκομίας και της χρήσης γης (AFOLU), της βαριάς και ελαφράς βιομηχανίας (INDUSTRY), του τριτογενούς τομέα και του τομέα των δημόσιων υπηρεσιών (SERVICES), του οικιακού τομέα (RESIDENTIAL) και του τομέα μεταφορών (TRANSPORT). Η ανάλυση βασίστηκε σε τέσσερα κριτήρια/ερωτήματα: την επίδραση στην ανθρώπινη ανάπτυξη, τη χρήση πόρων, τη προστασία του συστήματος της γης και την ισότητα. Στα ενδιαφερόμενα μέρη δόθηκαν σύντομες επεξηγήσεις των κριτηρίων, με τη μορφή παραδειγμάτων (βλέπε πίνακα 8.1), ώστε να διασφαλιστεί ότι οι συμμετέχοντες θα έχουν μια θεμελιωδώς κοινή κατανόηση των διακρίσεων μεταξύ τους, χωρίς ωστόσο να δεσμεύεται απόλυτα η οπτική γωνία τους. Ομοίως, στο δεύτερο ερωτηματολόγιο, ζητήθηκε από τα εμπλεκόμενα ενδιαφερόμενα μέρη να αξιολογήσουν δεκατέσσερα από τα δεκαεπτά SDG, με βάση τη συνάφειά τους με την κλιματική αλλαγή και δράση, την μέχρι τώρα τάση προόδου στην Κένυα, την μέχρι τώρα εθνική φιλοδοξία πολιτικής και τη σημασία τους στο εθνικό πλαίσιο της Κένυας. Το SDG 13 (δράση για το κλίμα) δεν περιλαμβάνεται ως εναλλακτική λύση στο ερωτηματολόγιο, καθώς τα SDG αξιολογούνται με σημείο αναφοράς τη δράση για το κλίμα. Ομοίως, τα SDG 16 (ειρήνη, δικαιοσύνη και ισχυροί θεσμοί) και 17 (συνεργασία για τους στόχους) εξαιρούνται από το ερωτηματολόγιο, επειδή διαπιστώνεται ότι υποεκπροσωπούνται στη μοντελοποίηση (Nikas et al., 2021a; Giarola et al., 2021). Οι πίνακες 8.1 και 8.2 συνοψίζουν τις βασικές πληροφορίες κάθε ερωτηματολογίου.

Πίνακας 8.1. Εναλλακτικές, κριτήρια (ερωτήσεις) και γλωσσική κλίμακα ερωτηματολογίου σχετικά με το ερωτηματολόγιο για την προτεραιοποίηση τομέων στην Κένυα (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε)

Εναλλακτικές	Κριτήρια Αξιολόγησης	Γλωσσική κλίμακα
RESIDENTIAL POWER INDUSTRY SERVICES TRANSPORT AFOLU	C1. Human Development *How important would decarbonising this sector be for human development (growth, employment, education, health)?*	Evaluation Scale {none, very low, low, medium, high, very high, excellent}
	C2. Resource Use *How important would decarbonising this sector be for resource use (clean/affordable energy, food, water)?*	Weight Scale {very low, low, medium, high, very high}
	C3. Earth System Conservation	

How important would decarbonising this sector be for earth system conservation (biodiversity, climate)?
C4. Equality
How important would decarbonising this sector be for equality (social, gender)?

Πίνακας 8.2. Εναλλακτικές, κριτήρια και γλωσσική κλίμακα ερωτηματολογίου σχετικά με την προτεραιοποίηση SDG στην Κένυα (δίνεται στα αγγλικά όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο που πραγματοποιήθηκε)

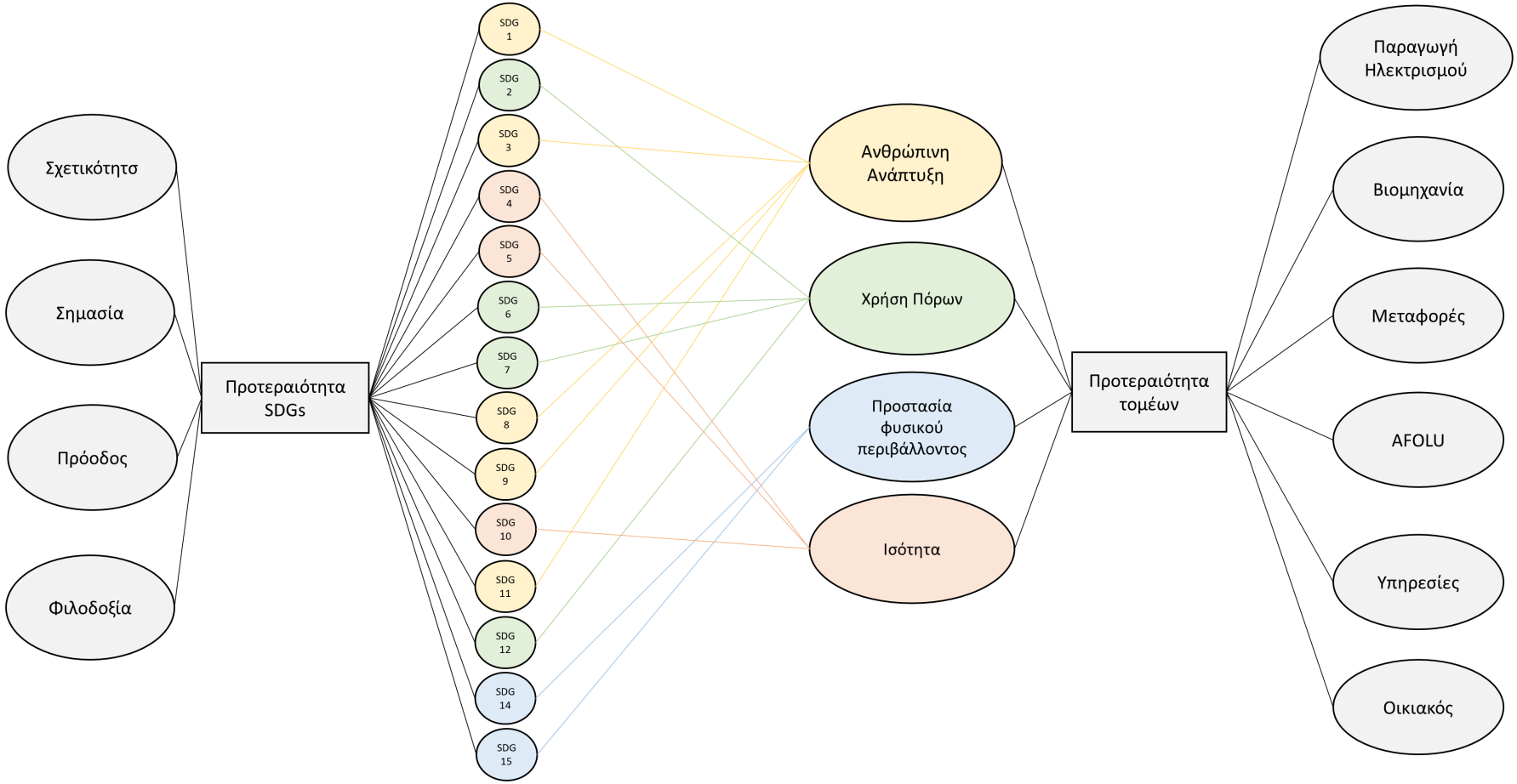
Εναλλακτικές	Κριτήρια Αξιολόγησης	Γλωσσική κλίμακα
SDG 1: No Poverty	C1. Significance	Universal Scale
SDG 2: Zero Hunger	*How significant do you find this SDG is to address in the Kenyan Context?*	{very low, low, medium, high, very high}
SDG 3: Good Health and Well-Being		
SDG 4: Quality Education	C2. Relevance	
SDG 5: Gender Equality	*How relevant to climate action do you think this SDG is?*	
SDG 6: Clean Water and Sanitation		
SDG 7: Affordable and Clean Energy	C3. Trend of Progress	
SDG 8: Decent Work and Economic Growth	*How do you perceive the trend of progress in meeting the goals of this SDG so far?*	
SDG 9: Industry, Innovation & Infrastructure		
SDG 10: Reduced Inequalities	C4. Ambition	
SDG 11: Sustainable Cities and Communities	*How do you perceive the ambition of the Kenyan policy towards meeting the goals of this SDG so far?*	
SDG 12: Responsible Consumption & Production		
SDG 14: Life Below Water		
SDG 15: Life on Land		

Τα αποτελέσματα των δύο ερωτηματολογίων αναλύονται με βάση την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι δύο επιμέρους ασκήσεις MCDA είναι φαινομενικά ξεχωριστές. Ωστόσο στην μεν πρώτη η δράση για την κλιματική αλλαγή λαμβάνει τη διάσταση των εναλλακτικών και διαστάσεις της βιωσιμότητας αυτή των κριτηρίων, ενώ στην δεύτερη άσκηση οι ρόλοι αντιστρέφονται. Αυτό στη συνέχεια επιτρέπει το συνδυασμό των δύο ασκήσεων χρησιμοποιώντας τη δεύτερη άσκηση ως ανατροφοδότηση στην πρώτη, επιτρέποντας την τροποποίηση των σταθμίσεων των κριτηρίων και την αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, τα τέσσερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση σε επίπεδο τομέων χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση των SDG, προσαρμόζοντας την ομαδοποίηση των Van Soest et al. (2019), όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1 (χρωματιστά οβάλ), εστιάζοντας στην ισότητα αντί για τις υποδομές

ως τέταρτη ομάδα της ανάλυσής μας. Η χαρτογράφηση των SDG στα τέσσερα κριτήρια δεν συζητήθηκε με τους συμμετέχοντες (εκτός από τα απλά παραδείγματα που παρέχονται; Πίνακας 8.1), καθώς σκοπός της ενσωμάτωσης των δύο ερωτηματολογίων ήταν η καταγραφή των έμμεσων προτιμήσεων από τα ενδιαφερόμενα μέρη και με σκοπό την αποφυγή πρόκλησης προκαταλήψεων.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ερωτηματολογίων, η ανάλυση πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Πρώτον, οι αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών αναλύονται ανεξάρτητα, χρησιμεύοντας για την άμεση άντληση των προτιμήσεών τους. Δεύτερον, δεδομένης της σύνδεσης μεταξύ των SDG και της ομαδοποίησης αυτών που οδηγεί στα κριτήρια της ανάλυσης τομέων, οι αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών από τα δύο ερωτηματολόγια ενσωματώνονται όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 8.1. Συγκεκριμένα, οι αξιολογήσεις από την ανάλυση SDG (με την ομαδοποίηση της Εικόνας 8.1 και παράγοντας μια μέση τιμή ανάλογα με τη σχέση τους με το αντίστοιχο κριτήριο) χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων του κάθε αποφασίζοντα στο ερωτηματολόγια των τομέων. Με αυτόν τον τρόπο, η υπόθεση είναι ότι μπορούμε να βελτιώσουμε τα επίπεδα συναίνεσης της εμπλεκόμενης ομάδας και να αυξήσουμε την ευρωστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

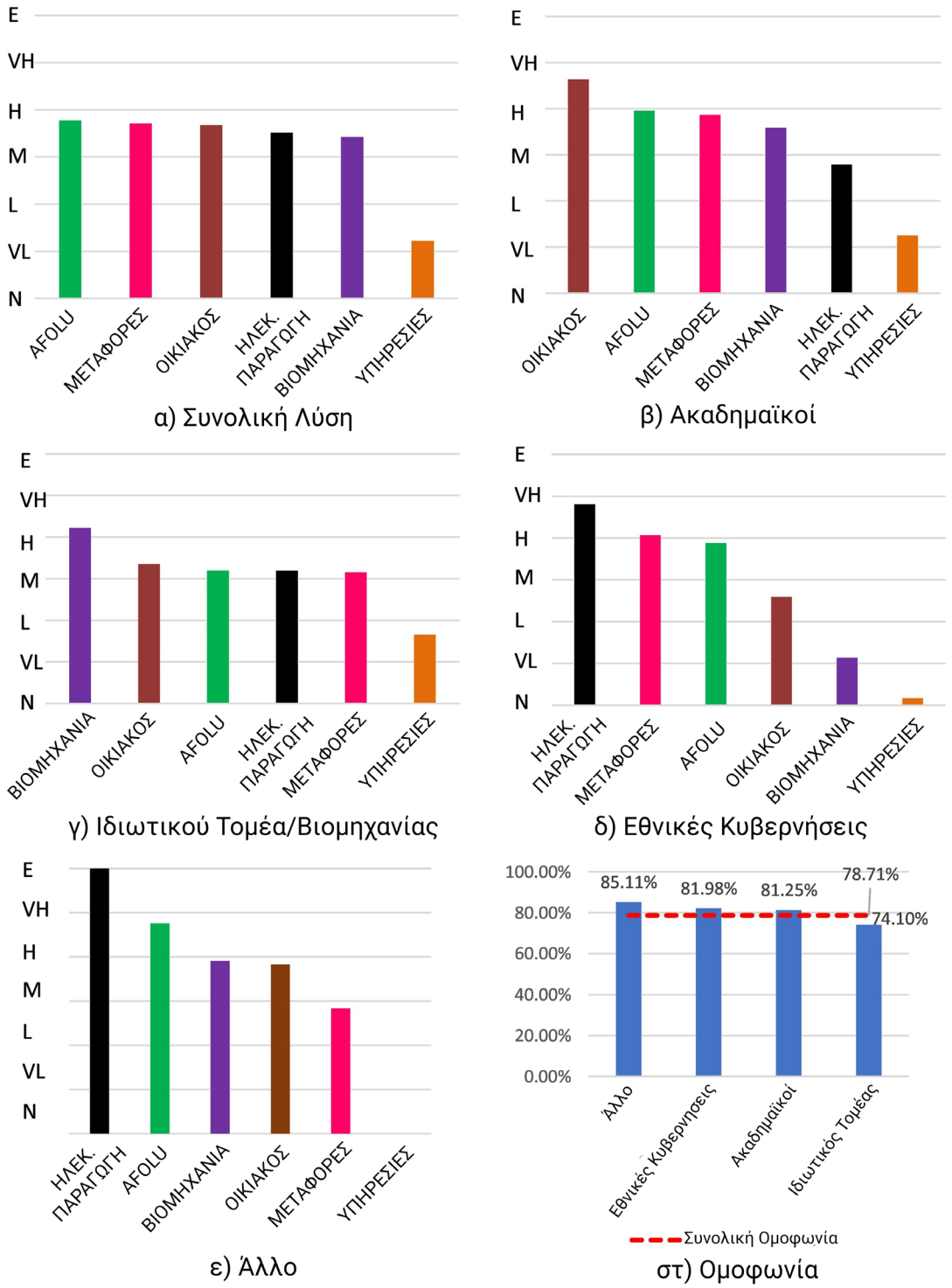


Εικόνα 8.1 Ενσωμάτωση των δύο ασκήσεων MCDA

8.4 Αποτελέσματα

8.4.1 Αρχική ανάλυση σε επίπεδο τομέων

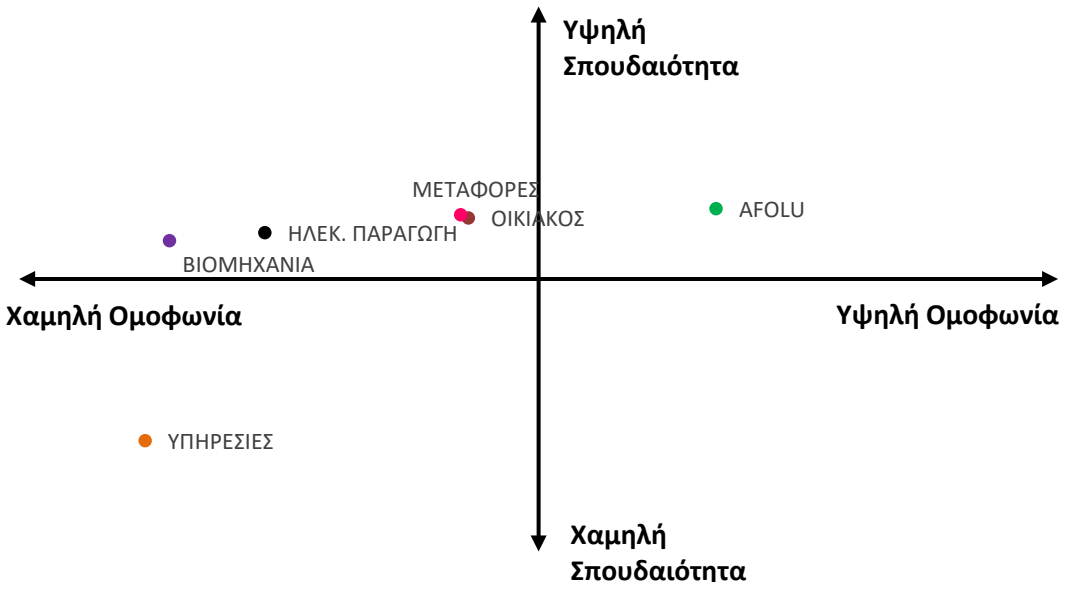
Ενδιαφερόμενα μέρη με διαφορετικό υπόβαθρο και επίπεδα γνώσης προερχόμενα από τον ακαδημαϊκό χώρο (43%), τη βιομηχανία (29%), την εθνική κυβέρνηση (14%) και άλλους φορείς (9%) αξιολόγησαν τη σημασία της απανθρακοποίησης κάθε οικονομικού τομέα με βάση διαφορετικούς πυλώνες βιωσιμότητας. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συμμετέχοντες που έχουν θεσμικό ρόλο εντός της εθνικής κυβέρνησης, παρά το γεγονός ότι είναι αναμενόμενα λιγότεροι από τις άλλες δύο ομάδες, προσφέρουν μια μοναδική και έγκυρη, υψηλού επιπέδου οπτική γωνία ως προς τη χάραξη πολιτικής της χώρας. Ως εκ τούτου, θεωρούνται ανεξάρτητη ομάδα στην ανάλυση. Αυτό συνάδει επίσης με άλλες έρευνες εμπειρογνωμόνων αυτής της κλίμακας, στις οποίες οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής εκπροσωπούνται σε παρόμοια ποσοστά (Fedak et al., 2019). Με βάση τις αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών σε μια 7-βάθμια κλίμακα, {None, Very Low, Low, Medium, High, Very High, Excellent}, και τη διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω, υπολογίζεται η συνολική λύση, δηλαδή η κατάταξη των τομέων του προβλήματος MCDA ως προς τη σπουδαιότητα της απανθρακοποίησης τους με βάση την επίδραση σε διάφορους άξονες που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα. Η κατάταξη κάθε εναλλακτικής λύσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.2α. Από αυτή την αρχική ιεράρχηση, δεν μπορεί να συναχθεί σαφής προτίμηση για την προτεραιότητα των τομέων, καθώς η απανθρακοποίηση τους φαίνεται να θεωρείται εξίσου σημαντική. Μπορεί να γίνει διάκριση όσον αφορά τις υπηρεσίες, ο μόνος τομέας με πολύ χαμηλή αξιολόγηση, γεγονός που δείχνει ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη αντιλαμβάνονται τους άλλους τομείς ως πιο επείγοντες και σχετικούς με τη βιώσιμη ανάπτυξη συνολικά. Σε σύγκριση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις, οι υπηρεσίες έλαβαν ποικίλες αξιολογήσεις από τους συμμετέχοντες, δηλαδή ακόμη και στα κριτήρια στα οποία έλαβαν υψηλές αποδόσεις υπήρχαν αντίστοιχα συμμετέχοντες που βαθμολογούσαν χαμηλά στα αντίστοιχα ερωτήματα.



Εικόνα 8.2. Προτεραιοποίση της απανθρακοποίησης τομέων με βάση (α) το σύνολο των συμμετεχόντων, (β) την ακαδημαϊκή κοινότητα, (γ) τον ιδιωτικό τομέα/τη βιομηχανία, (δ) τις εθνικές κυβερνήσεις, (ε) άλλους και (στ) το ποσοστό συμφωνίας κάθε λύσης. Ο κάθετος άξονας αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα.

Αν και ο τομέας AFOLU, όντας κρίσιμος όσον αφορά τόσο τη συμβολή στην εθνική οικονομία όσο και τις παραγόμενες εκπομπές, φαίνεται να λαμβάνει την υψηλότερη προτεραιότητα, δεν θεωρείται ως ριζικά σημαντικότερος από τους υπόλοιπους τομείς, τουλάχιστον με βάση τις διαφορές που εντοπίζονται. Στην πραγματικότητα, λόγω αυτών των αμελητέων διαφορών μεταξύ των αξιολογήσεών τους και με εξαίρεση τις υπηρεσίες, όλοι οι τομείς βρίσκονταν στη μεσαία έως υψηλή κλίμακα. Δεδομένου ότι η TOPSIS υπολογίζει την απόσταση μεταξύ της θετικής και αρνητικής ιδανικής λύσης, αυτή η ενδιάμεση αξιολόγηση δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως μέτρια σημασία όλων των τομέων, παρά ως έλλειψη ισχυρής προτίμησης έναντι κάθε εναλλακτικής λύσης. Αυτή η αρχική προτεραιότητα της ομάδας στην Εικόνα 8.2α χαρακτηρίστηκε από σχετικά μέτριο επίπεδο συναίνεσης 78.1%, με τα ενδιαφερόμενα μέρη μεμονωμένα να επιδεικνύουν μεγάλο εύρος προσωπικής συναίνεσης που κυμαίνεται από 65% έως 92%, υπογραμμίζοντας έτσι την περιορισμένη ικανότητα παραγωγής αξιόπιστων πληροφοριών στην ομαδική λήψη αποφάσεων αν δεν λαμβάνεται υπόψη η συναίνεση.

Η Εικόνα 8.3 διευρύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων ώστε να συμπεριλάβει όχι μόνο την αξιολόγηση, αλλά και το επίπεδο συναίνεσης κάθε εναλλακτικής λύσης σε αυτή τη συλλογική λύση. Παρά την όχι σημαντική διαφορά στις προτιμήσεις, η συναίνεση επιτρέπει καλύτερη διάκριση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Ο γεωργικός τομέας συγκεκριμένα παρουσιάζει την υψηλότερη συναίνεση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων που εξετάστηκαν, καθώς είναι ο μόνος τομέας που τοποθετείται προς την περιοχή υψηλότερης συναίνεσης, δηλαδή υπερτερεί των συνολικών επιπέδων συναίνεσης. Από την άλλη, ο οικιακός τομέας και ο τομέας των μεταφορών φαίνεται να χαρακτηρίζονται περισσότερο ως μια «μέση λύση», ενώ η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας εμφανίζουν χαμηλή συναίνεση. Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο παράγονται αυτές οι διαφορές, η εσωτερική λύση κάθε ομάδας ενδιαφερόμενων μερών παρουσιάζεται επίσης στην Εικόνα 8.2β-2ε.



Εικόνα 8.3. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε τομέα στην αρχική ανάλυση

Παρατηρούμε ότι κάθε ομάδα ενδιαφερόμενων μερών διαφοροποιείται όσον αφορά τις προτεραιότητές της. Η ακαδημαϊκή κοινότητα και οι ερευνητικοί φορείς υπερτονίζουν τον οικιακό τομέα, με τον AFOLU να έρχεται δεύτερος, σύμφωνα με τις απαντήσεις τους. Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στο πλαίσιο της Κένυας παραπάνω, ο οικιακός τομέας αποτελεί σημαντικό παράγοντα όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς τα νοικοκυριά βασίζονται στην παραδοσιακή βιομάζα για τις ενεργειακές τους ανάγκες λόγω έλλειψης πρόσβασης σε ηλεκτρική ενέργεια και σύγχρονες πηγές ενέργειας, μια συσχέτιση καλά κατανοητή από την ακαδημαϊκή κοινότητα (Rao et al., 2016) αλλά φαινομενικά λιγότερο από τις άλλες ομάδες. Από την άλλη, οι εθνικοί κυβερνητικοί φορείς θεωρούν τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας ως τον σημαντικότερο. Η έμφαση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αναμενόμενη για αυτήν την ομάδα, δεδομένου ότι η κυβέρνηση της Κένυας έχει εισάγει πολλαπλές νομοθετικές πράξεις και πολιτικές για την καταπολέμηση της έλλειψης πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια σε συνδυασμό με τον μετριασμό των εκπομπών του τομέα μέσω κανονισμών για υψηλότερη διάχυση των ΑΠΕ. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι και οι δύο ομάδες θεωρούν τον γεωργικό τομέα εξαιρετικά σημαντικό. Τέλος, οι εκπρόσωποι του ιδιωτικού και του βιομηχανικού τομέα φαίνεται να θεωρούν ότι η βιομηχανία είναι η πιο σημαντική στην Κένυα. Η υψηλή ιεράρχηση του δικού τους επαγγελματικού τομέα σε μια αυτοαναφορική λογική μπορεί να φαίνεται μεροληπτική. Ωστόσο, συνολικά το υπόλοιπο της κατάταξής τους ακολουθεί παρόμοια πρότυπα με την ευρύτερη δεξαμενή ενδιαφερομένων, τοποθετώντας τον οικιακό και

τον γεωργικό τομέα στη δεύτερη και τρίτη θέση, αντίστοιχα, με την πιθανή προκατάληψη να περιορίζεται μεμονωμένα στον εν λόγω τομέα.

Η διακύμανση που επισημαίνεται στις Εικόνες 8.2β-2ε επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της συγκεντρωτικής ανάλυσής μας, με τον τομέα AFOLU, παρά το γεγονός ότι δεν αξιολογείται ως ο σημαντικότερος τομέας από καμία ομάδα, να εμφανίζεται σταθερά στις υψηλότερες θέσεις της κατάταξης σχεδόν σε όλες τις ομάδες. Οι υπόλοιπες εναλλακτικές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις, ιδίως η παραγωγή ενέργειας και η βιομηχανία, δικαιολογώντας τις χαμηλότερες επιδόσεις στον άξονα συναίνεσης (Εικόνα 8.3). Στην πραγματικότητα, ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας, παρά την πρώτη θέση μεταξύ δύο ομάδων, αξιολογήθηκε χαμηλά από τους άλλους. Ομοίως, η μεροληψία των ενδιαφερόμενων μερών του του βιομηχανικού τομέα όσον αφορά την υπερψήφιση του τομέα τους παρατηρείται επίσης στην Εικόνα 8.2στ, όπου η εσωτερική συμφωνία της ομάδας είναι χαμηλότερη από την μέση συμφωνία, ενώ όλες οι άλλες ομάδες παρουσίασαν υψηλότερη εσωτερική συμφωνία.

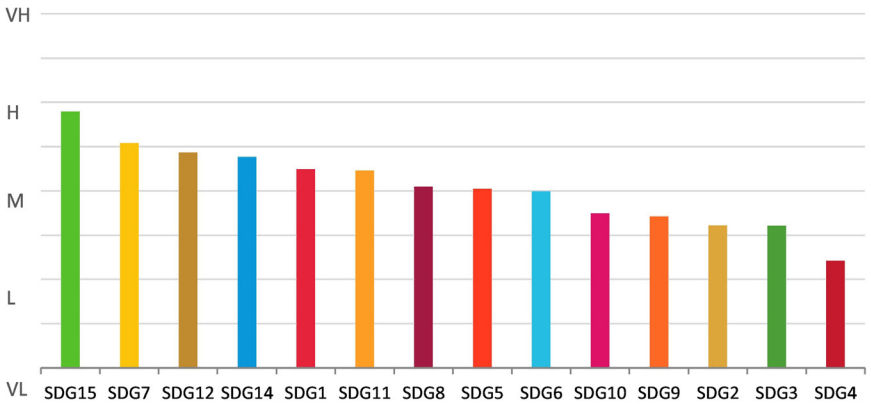
8.4.2 Ανάλυση σε επίπεδο SDG

Η πρώτη άσκηση έδειξε ασαφή ιεράρχηση των τομέων, συνοδευόμενη επίσης από μέτρια επίπεδα συναίνεσης μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη άσκηση, με δύο στόχους: πρώτον, να δοθεί προτεραιότητα στα SDG., και, δεύτερον, να ενισχυθεί σε έναν μηχανισμό ανατροφοδότησης η ανάλυση τομέων, όπως συζητήθηκε στο υποκεφάλαιο 8.3. Η κατανομή συμμετεχόντων κινήθηκε σε παρόμοια επίπεδα, ελαφρώς τροποποιημένη λόγω μικρού αριθμού αποχωρήσεων.

Στην Εικόνα 8.4α απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα της άσκησης, κατατάσσοντας τα 14 SDG σύμφωνα με τις απαντήσεις των ενδιαφερόμενων μερών. Το SDG15 (Ζωή στη γη), που είναι το μόνο SDG με πτωτική τάση προόδου στην Κένυα (Sachs et al., 2020), έλαβε την υψηλότερη προτεραιότητα με αξιολόγηση (High, -0.11). Η σύνδεση μεταξύ μετριασμού κλιματικής αλλαγής και SDG15 είναι καλά εδραιωμένη (Hamidov et al., 2018), καθώς η Κένυα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παραδοσιακή και μη βιώσιμη βιομάζα, οδηγώντας σε σημαντικές επιπτώσεις για την αλλαγή χρήσης γης, τη γεωργία και την αποψίλωση των δασών. Λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των πτυχών και του SDG15 (Campbell κ.ά., 2018), καθώς και τους κινδύνους υποβάθμισης της γης (SDG 15.3) (Hirons, 2020; Herrick et al., 2020), τις αντίστοιχες επιπτώσεις στα τρόφιμα (SDG2) και στην υγεία (SDG3) που εντοπίστηκαν στη συζήτηση ως προς το εθνικό πλαίσιο, χωρίς να παραβλέπονται τα

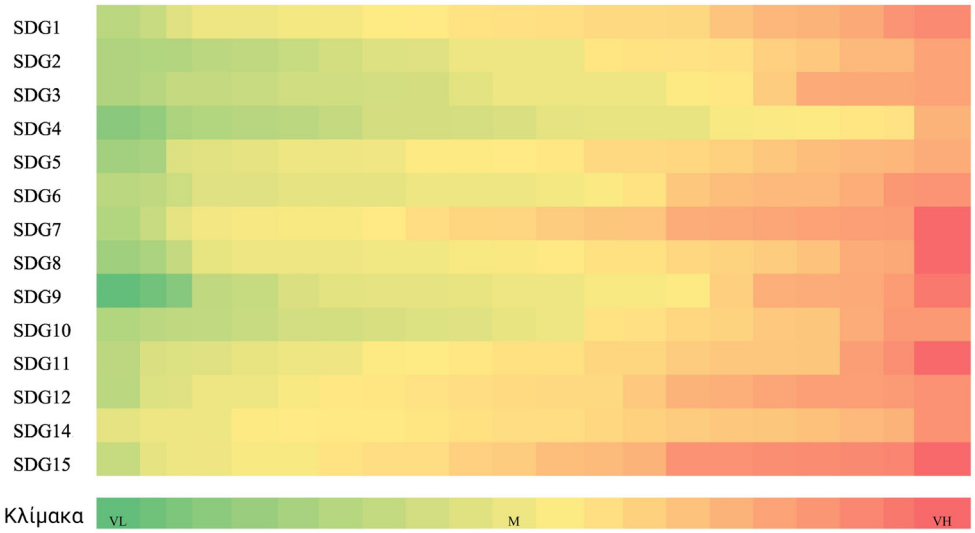
πολυάριθμα απειλούμενα είδη της χώρας (Earth's Endangered Creatures, 2020), αυτή η ιεράρχηση παρέχει μια αρχική επικύρωση για την υψηλή ιεράρχηση της σημασίας των αλλαγών στον τομέα AFOLU (πρώτο ερωτηματολόγιο). Επίσης, υπονοεί ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη έδωσαν προτεραιότητα στον τομέα AFOLU με βάση όχι μόνο τη σημασία του τομέα για την οικονομία και τις εκπομπές, όσο και λόγω ευρύτερων ανησυχιών για τη χρήση γης και τη βιοποικιλότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η νομοθεσία στη χώρα έχει επικεντρωθεί στην άγρια ζωή, καθώς θεωρείται κρίσιμη για τη βιωσιμότητα του τουριστικού τομέα (Kieti et al., 2020). Με βάση τα αποτελέσματα μας, η εστίαση πρέπει να επικεντρωθεί και στην ποικιλομορφία των χρήσεων γης, την ετερογένεια του περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων (Tyrell et al., 2020). Επίσης, η διάδοση του SDG15 μπορεί επίσης να οφείλεται στην ισχνή νομοθεσία σχετικά με τη χρήση μη ανανεώσιμης βιομάζας στα νοικοκυριά: οι μόνες σχετικές πολιτικές είτε δεν καθοδηγούνται από την κυβέρνηση (πχ., πρωτοβουλία SE4All) είτε περιορίζονται σε προσχέδια (σχέδιο στρατηγικής και σχεδίου δράσης για την ανάπτυξη της βιοενέργειας και του υγραερίου στην Κένυα). Οι Chisika et al. (2019) υποστήριξαν περαιτέρω ότι οι κανόνες για τη γεωργία (γεωργική δασοκομία) χαρακτηρίζονται από ασυνέπειες, ενώ ο Faling (2020) ότι η στρατηγική της Κένυας για την έξυπνη γεωργία του κλίματος 2017-2026 είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, χωρίς να οδηγεί αυστηρά σε ριζικούς μετασχηματισμούς του γεωργικού τομέα της χώρας.

Στην Εικόνα 8.4β παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των κατατάξεων ανά διαφορετικές ομάδες, οι οποίες ακολούθησαν τα αποτελέσματα της παγκόσμιας κατάταξης. Ενδιαφέρουσες ακραίες τιμές είναι επίσης παρούσες, με ενδιαφερόμενους φορείς από διεθνείς οργανισμούς να δίνουν προτεραιότητα στο SDG11 (βιώσιμες πόλεις και κοινότητες) και κυβερνητικούς εκπροσώπους να τονίζουν τη σημασία των SDG10 (μείωση ανισοτήτων), SDG3 (υγεία και ευημερία) και 6 (καθαρό νερό). Ενώ τα περισσότερα από αυτά τα ζητήματα αποτελούν καθιερωμένες απειλές για τη βιωσιμότητα της Κένυας, αυτές οι προτιμήσεις υποδηλώνουν ότι η κυβέρνηση δίνει προτεραιότητα στην κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας, ενδεχομένως αντανακλώντας την εμπιστοσύνη στις τρέχουσες νομοθετικές προσπάθειες για την πρόσβαση στην ενέργεια και τη βιωσιμότητα συνολικότερα. Είναι ενδιαφέρον, ωστόσο, ότι αυτή η ομάδα οδήγησε τις αξιολογήσεις υψηλότερα σε σύγκριση με τα άλλα ενδιαφερόμενα μέρη, δίνοντας δηλαδή απαντήσεις στην υψηλότερη βαθμίδα της κλίμακας. Τα ενδιαφερόμενα μέρη του ιδιωτικού τομέα έδειξαν μια μεγαλύτερη αδιαφορία για τους SDG, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που κατέταξαν ως πιο σημαντικά.



α) Συνολική Λύση

β) Προτεραιοποίηση ανά ομάδα συμμετεχόντων



γ) Χάρτης έντασης των SDG

Εικόνα 8.4. Προτεραιοποίηση των SDG στην Κένυα. Ο κάθετος άξονας (α) αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα.

Ο φόβος της απώλειας βιοποικιλότητας θα μπορούσε να αποτελέσει έναν ακόμη παράγοντα για την ιεράρχηση του SDG15 ως του σημαντικότερου στόχου βιωσιμότητας, λόγω της εγγενούς σχέσης μεταξύ της καταστροφής των οικοσυστημάτων και της εμφάνισης πανδημιών (IPBES, 2020), όπως η τρέχουσα υγειονομική ανάγκη. Εκτός από τον COVID-19, αν και τα θέματα υγείας, όπως η υψηλή θνησιμότητα ειδικά στα παιδιά, έχουν ήδη αναγνωριστεί ως σημαντική απειλή στην ευρύτερη περιοχή SSA, ο αντίστοιχος στόχος (SDG3) δεν βρέθηκε μεταξύ των κορυφαίων προτεραιοτήτων, κατατασσόμενος μάλιστα στην προτελευταία θέση. Ωστόσο, αυτό δεν θα πρέπει να ερμηνεύεται ως αδιαφορία για τέτοια ζητήματα, καθώς η αξιολόγηση μας εξετάζει τη σημασία κάθε SDG ως προς την κλιματική αλλαγή, με τον μετριασμό και την πρόοδο του SDG3 να μοιράζονται εμμέσως οφέλη. Ωστόσο, πρόκειται για σημαντικό εύρημα, καθώς οι περισσότερες μελέτες μετριασμού στη βιβλιογραφία που διερευνούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της δράσης για το κλίμα και άλλων SDG στην περιοχή εστιάζουν, μεταξύ άλλων, στο SDG3 (π.χ. Van de Ven et al., 2019; Forouli et al., 2020; Rafaj et al., 2021; Vandyck et al., 2018), στοχεύοντας κυρίως σε επιμέρους στόχους και δείκτες όπως η ποιότητα του αέρα (Iyer, et al., 2018), η οποία παραμένει μια σημαντική και αρκετά μελετημένη πτυχή, αλλά λείπει η σύνδεση με ευρύτερους συστημικούς παράγοντες, τους οποίους προφανώς τα ενδιαφερόμενα μέρη θεωρούν σημαντικά.

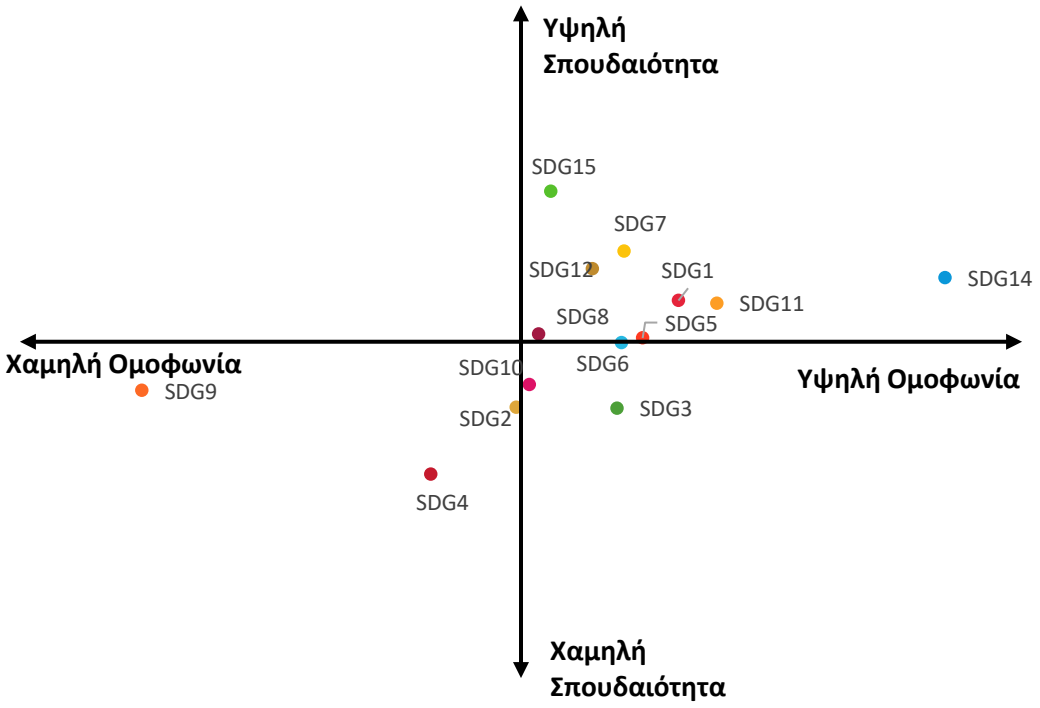
Το SDG7 (πρόσβαση σε καθαρή και προσιτή ενέργεια), ένα άλλο SDG με ισχυρή ανατροφοδότηση για άλλους στόχους (McCollum et al., 2018) που σχετίζεται άμεσα με απειλές που εντοπίστηκαν στη χώρα, ήταν άλλο ένα SDG με αξιολόγηση στο υψηλό εύρος της γλωσσικής κλίμακας, ακολουθώντας το SDG15. Η σοβαρή έλλειψη πρόσβασης στην ενέργεια φαίνεται να είναι η ρίζα σημαντικών ζητημάτων που αντιμετωπίζει η χώρα, με τα ενδιαφερόμενα μέρη να εκφράζουν την ανάγκη αντιμετώπισης αυτής της απειλής σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή. Η επίτευξη των στόχων αυτού του SDG απαιτεί περισσότερα από την εξασφάλιση καθολικής πρόσβασης στην ενέργεια, ιδίως για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Πρέπει να δοθεί έμφαση στην παροχή πρόσβασης σε καθαρή και οικονομικά προσιτή ενέργεια (SDG 7.1), καθώς και στην προσέλκυση σημαντικών επενδύσεων προς την έρευνα και τις υποδομές καθαρής ενέργειας (SDG 7.a1 και 7.b1). Η έλλειψη διαφόρων μηχανισμών χρηματοδότησης που να υποστηρίζουν τέτοιες επενδύσεις αποτελεί χαρακτηριστικό πολλών χωρών της αφρικανικής ηπείρου (Adom, 2019; Adom et al., 2018), συμπεριλαμβανομένης της Κένυας, όπου οι προσπάθειες πολιτικής υπέρ των ΑΠΕ δεν συντονίζονται επαρκώς και ενδέχεται να εξαρτώνται από τη βοήθεια διεθνών φορέων (Naess et al., 2015). Οι πρόσφατες πρωτοβουλίες ενεργειακής καινοτομίας

στη χώρα πρέπει να επεκταθούν για να μεγιστοποιηθεί ο αντίκτυπος στην τοπική κοινότητα (Chan et al., 2017). Ταυτόχρονα, δεν θα πρέπει να αγνοούνται οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση (SDG 7.3), ιδίως αν ληφθεί υπόψη ότι το SDG12 (υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή) κατατάσσεται επίσης ψηλά. Με τις χώρες της Αφρικής, συμπεριλαμβανομένης της Κένυας, να αντιμετωπίζουν μια δύσκολη μάχη για την επίτευξη ευρείας διείσδυσης των ΑΠΕ έως το 2030 (Alova et al., 2021), η ενεργειακή απόδοση μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη βελτίωση της πρόσβασης στην ενέργεια βραχυπρόθεσμα (du Can et al., 2018), με τη χώρα να παρουσιάζει επί του παρόντος περιορισμένη στήριξη σε διάφορες πτυχές της ενεργειακής απόδοσης (π.χ. Figueroa et al., 2019). Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τους συμμετέχοντες μας, η κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου επενδυτικού σχεδίου για υποδομές καθαρής ενέργειας και έρευνα που θα λαμβάνει επίσης υπόψη διακριτά τοπικά στοιχεία, όπως η εξάρτηση από τη μη βιώσιμη βιομάζα και η ενεργειακή απόδοση, θα πρέπει να συγκαταλέγονται στις κορυφαίες προτεραιότητες μιας εθνικής στρατηγικής για μια βιώσιμη μετάβαση.

Το SDG4 (ποιοτική εκπαίδευση) κατατάσσεται τελευταίο σύμφωνα με τα ενδιαφερόμενα μέρη (Low, 0.21), και παρουσιάζει στην πραγματικότητα μια μεγάλη διαφορά που το χωρίζει από τους άλλους στόχους. Τα περισσότερα εκπαιδευτικά ζητήματα που αντιμετωπίζει η Κένυα σχετίζονται με την τριτοβάθμια εκπαίδευση (McCowan, 2018) και παρόλο που έχει σημειωθεί βελτίωση στα ποσοστά πρόσβασης στην εκπαίδευση τις τελευταίες δεκαετίες, η στασιμότητα δεικτών που αφορούν τα ποσοστά ολοκλήρωσης εξακολουθεί να εγείρει ερωτήματα για την πραγματική πρόοδο καθώς και σημαντικές προκλήσεις (Sifuna, 2007). Αν και η σύνδεση πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με πρωτοβουλίες από την πλευρά της ζήτησης έχει φανεί ως σημαντική για αποφασίζοντες σε παρόμοιες μελέτες (Dal Maso et al., 2020), στην περίπτωση μας αυτή η αλληλουχία από το SDG13 στο SDG7 και στη συνέχεια στο SDG4 (καθώς μας αφορά η διασύνδεση με την κλιματική δράση) φαίνεται να ήταν έμμεσης σημασίας για το δικό μας σύνολο αποφασιζόντων.

Ο χάρτης της Εικόνας 8.4γ απεικονίζει την κατανομή των αξιολογήσεων των ενδιαφερόμενων μερών για κάθε SDG, οι οποίες μπορούν να εξαχθούν στο πλαίσιο του APOLLO ως ενδιάμεσο βήμα στην ανάλυση. Εκτός από την επικύρωση προηγούμενων πληροφοριών, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το SDG9 (βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές) αξιολογήθηκε μάλλον ευνοϊκά από ορισμένα ενδιαφερόμενα μέρη, αλλά δεν κατάφερε να τοποθετηθεί μεταξύ των λιγότερο κρίσιμων SDG. Εκτός από την εμφάνιση σημαντικών αποκλίσεων στις απαντήσεις και,

ως εκ τούτου, χαμηλών επιπέδων συναίνεσης, αυτό επιβεβαιώνει σταθερά τη χαμηλή ιεράρχηση της βιομηχανίας κατά την πρώτη άσκηση, υπονοώντας περαιτέρω ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη της αντίστοιχης ομάδας ενίσχυσαν ελαφρώς τον τομέα και τα αντίστοιχα SDG στην κατάταξη. Αποτελεί επίσης ένδειξη αυτής της μεροληψίας σε σχέση με το SDG9, όπως επισημαίνεται στην Εικόνα 8.5α. Εκτός από τα SDG9 και SDG14 (ζωή κάτω από το νερό), τα περισσότερα SDGs περιστρέφονται γύρω από το κέντρο των αξόνων, με διακυμάνσεις που γενικά ακολουθούν τα μοτίβα που προσδιορίζονται στην απόλυτη κατάταξη. Παρόλο που το SDG14 δεν ξεχώρισε στην κατάταξη, έδειξε την υψηλότερη συναίνεση μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, πράγμα που σημαίνει ότι σχεδόν όλες οι ομάδες συμφώνησαν στη σημασία του (παρόλο που αυτή κινήθηκε σε επίπεδα λίγο πάνω από το μέσο όρο), και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που τονίζει την ανάγκη μετριασμού της θαλάσσιας ρύπανσης και αντιμετώπισης γνωστών ζητημάτων όπως η υπεραλίευση (Alati et al., 2020). Γενικά, η ομάδα συμμετεχόντων μας παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη συναίνεση (85.23%) σε αυτή την άσκηση σε σχέση με την άσκηση τομέων, υπονοώντας ότι η χρήση των προτιμήσεων αυτού του ερωτηματολογίου για την τροφοδότηση του προηγούμενου μπορεί να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική.

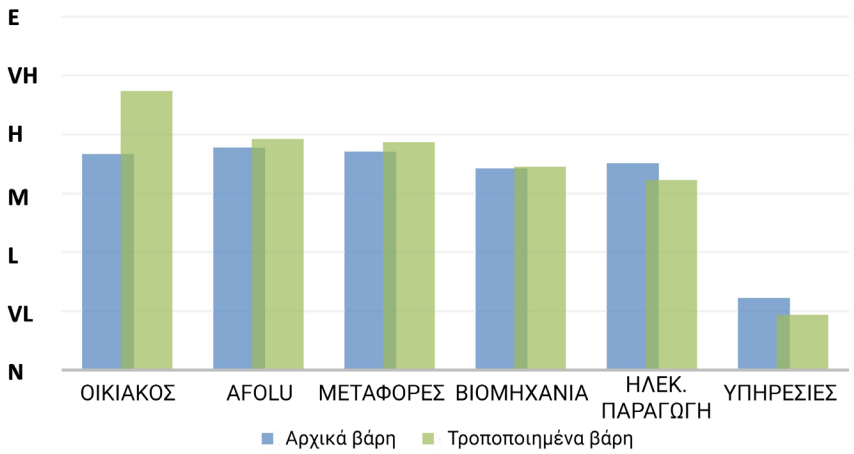


Εικόνα 8.5. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε SDG

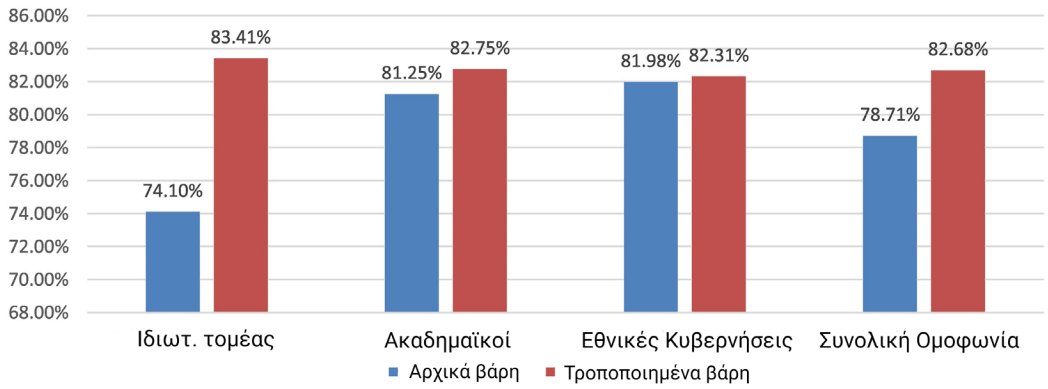
8.4.3 Επανεξέταση της ανάλυσης σε επίπεδο τομέων

Όπως αποτυπώθηκε στο υποκεφάλαιο 8.3, τα βάρη των κριτηρίων της πρώτης άσκησης (τομείς) επανεξετάζονται ώστε να αντικατοπτρίζουν την προτεραιοποίηση των SDG από τη δεύτερη άσκηση. Ειδικότερα οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης τροποποιούνται με βάση τις μέσες αξιολογήσεις των SDG που περιλαμβάνονται σε κάθε ομάδα (Εικόνα 8.1) μειώνοντας έτσι τις προκαταλήψεις και τα σφάλματα που μπορεί να προκαλούνται από την ανθρώπινη υποκειμενικότητα. Συγκεκριμένα, η λογική πίσω από αυτή την προσέγγιση είναι η εξής: ένας αποφασίζοντας μπορεί να έδωσε χαμηλό βάρος σε ένα κριτήριο της ανάλυσης των τομέων. Το κριτήριο αυτό, χωρίς ο αποφασίζοντας να το αντιλαμβάνεται πλήρως, σχετίζεται με κάποια SDG από τον τρόπο που δομήθηκε η άσκηση. Αν ο αποφασίζοντας αξιολογήσει αυτά τα SDG υψηλά, υποσυνείδητα δηλώνει ότι και το αντίστοιχο κριτήριο θα έπρεπε να είναι ψηλά, ωστόσο για κάποιους λόγους όταν κλήθηκε να αξιολογήσει άμεσα το κριτήριο υποτίμησε την αξία του. Εμείς μέσα από τη διασύνδεση των ερωτηματολογίων ερχόμαστε να επιχειρήσουμε να θεραπεύσουμε τέτοιες προκαταλήψεις.

Στην Εικόνα 8.6α απεικονίζεται η κατάταξη της αρχικής ανάλυσης, δηλαδή η ανάλυση με τους μη τροποποιημένους συντελεστές βαρύτητας από την αρχική ανάλυση (υποκεφάλαιο 8.4.1), όπως παρέχονται από τους ενδιαφερόμενους, και η κατάταξη μετά την τροποποίηση των συντελεστών βαρύτητας με βάση τα αποτελέσματα της δεύτερης άσκησης. Με βάση την αρχική λύση, είχαμε διαπιστώσει ότι οι πέντε τομείς τοποθετήθηκαν κοντά μεταξύ τους και γύρω στη μεσαία κλίμακα, εξαιρουμένων των υπηρεσιών που και στις δύο περιπτώσεις κατατάχθηκαν χαμηλά, καθιστώντας δύσκολο τον καθορισμό σαφών προτεραιοτήτων. Μετά τη διαδικασία ανατροφοδότησης των ερωτηματολογίων, η τελική κατάταξη δείχνει μια σαφέστερη κατανομή, με τον οικιακό τομέα να αναδεικνύεται ως ο σημαντικότερος τομέας. Στην πραγματικότητα, ο τομέας παρουσίασε τη μεγαλύτερη διαφορά σε σύγκριση με την αρχική ιεράρχηση. Η βασική διαφορά που οδήγησε σε αυτή την αλλαγή είναι η βελτιωμένη συναίνεση: ο οικιακός τομέας φαίνεται να αξιολογείται ως εξαιρετικά σημαντικός από τις περισσότερες ομάδες ενδιαφερομένων, παρά το γεγονός ότι δεν κατατάσσεται απαραίτητα πρώτος για όλες τις ομάδες. Η βελτιωμένη αυτή συναίνεση στα επίπεδα του 82.6% από 78.8% στην αρχική άσκηση.



α) Σύγκριση των συνολικών λύσεων και στις δύο περιπτώσεις



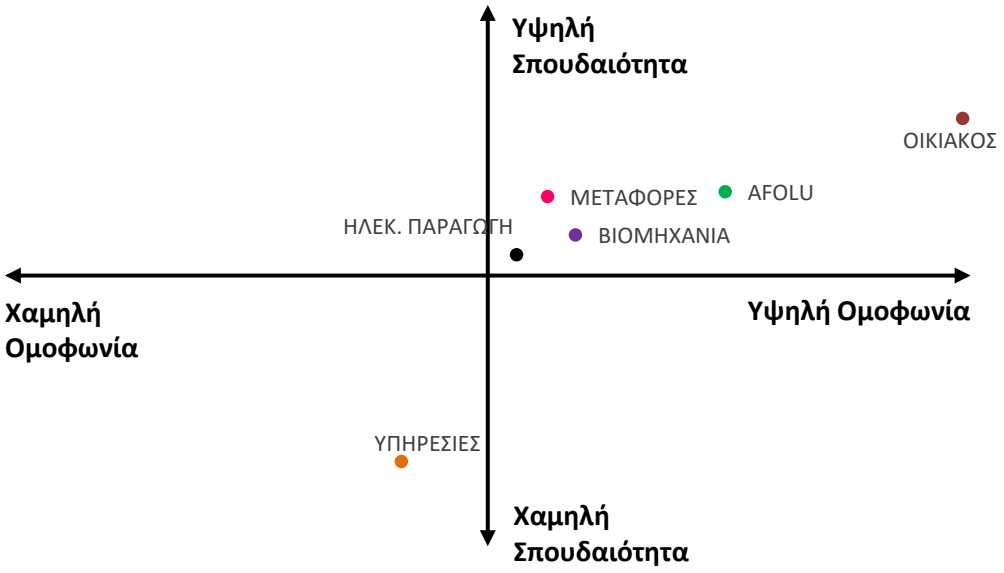
β) Σύγκριση του εσωτερικού επιπέδου ομοφωνίας των ομάδων και στις δύο περιπτώσεις

Εικόνα 8.6. Προτεραιοποίηση (α) της συναίνεσης (β) των τομέων με βάση τις δύο προσεγγίσεις ως προς τα βάρη. Ο κάθετος άξονας (α) αντικατοπτρίζει τη γλωσσική κλίμακα.

Μια κοινή κριτική των μεθόδων MCDA που δεν ορίζουν εσωτερικά μέθοδο υπολογισμού των βαρών στα κριτήρια φαίνεται να επιβεβαιώνεται, καθώς η διαδικασία τροποποίησης των βαρών είχε αντίκτυπο στην τελική κατάταξη, αν και περιορισμένο (κυρίως ξεκαθαρίζοντας τις διαφορές), αλλά το πιο σημαντικό είναι ότι είχε αντίκτυπο στην επιτευχθείσα συναίνεση. Στην Εικόνα 8.6β παρουσιάζονται οι διαφορές στην εσωτερική συναίνεση των ομάδων ενδιαφερομένων στις δύο αναλύσεις, με και χωρίς τροποποίηση των βαρών. Η αύξηση της συνολικής συναίνεσης είναι συνολικά εμφανής σε όλες τις ομάδες. Συγκεκριμένα, η διαδικασία αύξησε σημαντικά την εσωτερική συναίνεση της ομάδας μελών που προέρχονται από τον ιδιωτικό τομέα/βιομηχανία, μειώνοντας τις προκαταλήψεις από τα μέλη της ομάδας που παρατηρήθηκαν ως προς την αξιολόγηση του δικού τους τομέα. Συνολικά, αυτές οι αποκλίσεις

δεν ήταν αρκετές για να επηρεάσουν την κατάταξη της ομαδικής λύσης. Ωστόσο, στο πλαίσιο της κλιματικής διπλωματίας, ο στόχος δεν είναι μόνο η επίτευξη ή η βελτίωση της ομαδικής συναίνεσης, αλλά και η κατανόηση των διαφορετικών δυναμικών και συγκρούσεων μεταξύ διαφορετικών ομάδων. Η πολιτική για το κλίμα έχει πολλά να κερδίσει προσπαθώντας να εκμαιεύσει έμμεσα τις αξιολογήσεις των ενδιαφερόμενων μερών για τη μείωση της ανθρώπινης υποκειμενικότητας και την κατανόηση των εννοιών που κινητροποιούν κάθε συμμετέχοντα. Ειδικότερα, τόσο οι ομάδες των ακαδημαϊκών όσο και των μελών της εθνικής κυβέρνησης αύξησαν τη συναίνεση τους, αλλά το γεγονός ότι αυτές οι διακυμάνσεις βρίσκονται σε πολύ μικρότερο επίπεδο από τα μέλη του ιδιωτικού τομέα δείχνει ότι τα μέλη της τελευταίας ομάδας παρουσιάζουν υψηλότερη μεροληψία, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μελλοντικές μελέτες εξαγωγής απόψεων από ενδιαφερόμενα μέρη και εμπειρογνώμονες.

Βελτιώσεις όσον αφορά τη συναίνεση είναι επίσης εμφανείς στην Εικόνα 8.7, με την πλειονότητα των εναλλακτικών λύσεων να τοποθετούνται στο τεταρτημόριο υψηλής προτεραιότητας-υψηλής συναίνεσης, διατηρώντας παράλληλα τις διακρίσεις μεταξύ των τομέων. Στην πραγματικότητα, αν και οι περισσότεροι τομείς βελτίωσαν τη θέση τους, ο τομέας AFOLU διατήρησε τη θέση του σε σχέση με την αρχική ανάλυση, υποδεικνύοντας ότι η ισχυρή προτίμηση των συμμετεχόντων από τα αρχικά βήματα ισχύει και μετά την τροποποίηση των βαρών των κριτηρίων.



Εικόνα 8.7. Αξιολόγηση και επίπεδα συναίνεσης κάθε τομέα με βάση την τελική ανάλυση

8.4.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων των δύο ερωτηματολογίων και του συνδυασμού τους

Η ιεράρχηση του οικιακού τομέα και του AFOLU ταιριάζει και ενισχύει το αφήγημα τόσο από τομεακή όσο και από την σκοπιά των SDG, με κοινά μηνύματα να εντοπίζονται στα δύο ερωτηματολόγια. Τα ενδιαφερόμενα μέρη ανησυχούν για την έλλειψη πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια και συναφή ζητήματα, όπως η εξάρτηση από μη βιώσιμη βιομάζα και οι επιπτώσεις στον τομέα AFOLU και το SDG15. Η ομάδα εμπειρογνωμόνων, σε ένα συνδυαστικό πλαίσιο αξιολόγησης της ανάγκης για κλιματική δράση και τη βιωσιμότητα της Κένυας, παρέχει επίσης πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την προτιμώμενη ιεράρχηση αυτών των ζητημάτων. Συγκεκριμένα διαφαίνεται μια τάση και προτίμηση προς το SDG7 και τον οικιακό τομέα, κάτι που ξεπερνά την μέχρι τώρα έμφαση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο τα αποτελέσματα έμμεσα δείχνουν ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη συνολικά υπονοούν ότι η βαθιά διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πιθανό να είναι δυσκολότερη από ό,τι αναμενόταν και, ως εκ τούτου, προτιμούν να δώσουν προτεραιότητα σε βραχυπρόθεσμους μετασχηματισμούς από την πλευρά της ζήτησης, με τον τομέα των μεταφορών να ακολουθεί στενά. Αυτό συνάδει με τους Olang et al. (2018) που τόνισαν την ανάγκη να εξεταστούν τα ειδικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών καθώς και οι προοπτικές των χρηστών για τη βελτίωση της πρόσβασης στην ενέργεια και την επίτευξη του αντίστοιχου SDG.

Ταυτόχρονα, στην ευρύτερη περιοχή της Αφρικής, έχει δοθεί έμφαση σε μελέτες που επικεντρώνονται στον αγροτικό τομέα και παράγουν σχετικά μονοπάτια που αποσκοπούν στην αύξηση της προσαρμοστικής ικανότητας του τομέα (England et al., 2018), με τους αντίστοιχους περιορισμούς που υπάρχουν στην περίπτωση της Κένυας και της Ανατολικής Αφρικής (Epule et al., 2017). Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τις αποκλίσεις μεταξύ των εθνικών στρατηγικών και των τομεακών πολιτικών, οι οποίες στην περίπτωση του τομέα AFOLU έχουν μέχρι στιγμής οδηγήσει σε έναν προσανατολισμό που εστιάζει κυρίως οικονομική ανάπτυξη (Faling, 2020), τα αποτελέσματά μας καταδεικνύουν την ανάγκη δημιουργίας διατομεακών πολιτικών μεταξύ του AFOLU και του οικιακού τομέα, λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο στα SDG15 και 7, και ιδίως τις βασικές απειλές που εντοπίστηκαν στο πλαίσιο της Κένυας, όπως η περιορισμένη πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια, η εκτεταμένη χρήση μη βιώσιμης βιομάζας και οι αντίστοιχες επιπτώσεις στην υγεία.

Το γεγονός ότι ο οικιακός τομέας κατατάχθηκε ως ο πιο κρίσιμος ως προς την απανθρακοποίηση του παρέχει επίσης διάφορες χρήσιμες πληροφορίες αναφορικά με το υφιστάμενο καθεστώς χάραξης πολιτικής. Παρόλο που η κυβέρνηση της Κένυας έχει προτείνει διάφορες νομοθετικές πράξεις για την αύξηση της πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια και τη διάδοσης των ΑΠΕ, υπάρχει έλλειψη σημαντικών πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, με την πρώτη πολιτική που αφορά επίσημα την ενεργειακή απόδοση να νομοθετείται το 2020 (Adom, 2019). Επιπλέον, η ανεπαρκής διάδοση έγκυρης, επιστημονικής γνώσης σχετικά με την κλιματική αλλαγή εμποδίζει την ικανότητα των πολιτών να ακολουθήσουν τις φιλόδοξες πολιτικές που ορίζει η κυβέρνηση (Ageyo and Muchunku, 2020). Αν και αυτό επηρεάζει όλους τους τομείς, είναι ιδιαίτερα εμφανές στον οικιακό τομέα, ο οποίος απαιτεί υψηλό ποσοστό κοινωνικής αποδοχής προκειμένου τα μέτρα να έχουν επιτυχία, ιδίως δεδομένης της έλλειψης αρχών για την αποτελεσματική παρακολούθηση/ρύθμιση της οικιακής χρήσης ενέργειας. Παρόμοια φαινόμενα είναι επίσης εμφανή στη γεωργία και στις μέχρι τώρα σχετικές πολιτικές, όπως η στρατηγική για την έξυπνη γεωργία για το κλίμα 2017-2026, με τα ενδιαφερόμενα μέρη να αναγνωρίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής, της επισιτιστικής ασφάλειας και του περιβάλλοντος (Faling, 2020).

8.5 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό είχε ως στόχο να συλλέξει προτιμήσεις από ενδιαφερόμενους φορείς της Κένυας σχετικά με την αλληλεπίδραση ανάμεσα στη δράση της χώρας για το κλίμα σε επίπεδο τομέων, αφενός, και της βιώσιμης ανάπτυξης, αφετέρου. Το σημείο εκκίνησης της ανάλυσης είναι η ανάγκη σχεδιασμού μιας αποτελεσματικής και βιώσιμης πορείας μετάβασης, λαμβάνοντας υπόψη τις πέντε αλληλένδετες απειλές για τη βιωσιμότητα που εμφανίζονται στη χώρα: την κλιματική αλλαγή, την έλλειψη πρόσβασης στην ενέργεια, την φτώχεια, τις παλαιάς τεχνολογίας πρακτικές μαγειρέματος και διατροφής και τις προκλήσεις για την υγεία. Για την καλύτερη αντιμετώπιση αυτών των απειλών σύμφωνα με τους στόχους της συμφωνίας του Παρισιού και τους SDG στόχος, σχεδιάστηκε ένα εργαστήριο με τη συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών της Κένυας, όπου υλοποιήθηκαν δύο φαινομενικά ξεχωριστές αλλά αλληλένδετες ασκήσεις βασισμένες σε διαδικτυακά ερωτηματολόγια. Η πρώτη στόχευε στην αξιολόγηση της σημασίας της απανθρακοποίησης τομέων ως προς τέσσερις άξονες βιώσιμης ανάπτυξης και το δεύτερο στην ιεράρχηση των SDG σε σχέση με την πρόοδο, τη φιλοδοξία, καθώς και τη δράση για το κλίμα και τη σημασία για το εθνικό πλαίσιο.

Στην αρχική ανάλυση, τα ενδιαφερόμενα μέρη αξιολόγησαν τους τομείς σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο η δράση για το κλίμα μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη προόδου και στους τέσσερις άξονες βιωσιμότητας. Η άσκηση αυτή κατέδειξε καταρχάς ότι, παρά την επιστημονική εστίαση κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όλοι οι τομείς θεωρήθηκαν εξίσου σημαντικοί, με μόνη εξαίρεση τον τομέα των υπηρεσιών ο οποίος ξεχώρισε ως λιγότερο επείγων, και μόνο ο τομέας AFOLU να χαρακτηρίζεται από σημαντικά επίπεδα ομοφωνίας στην κατά τα άλλα κοντινή ιεράρχηση του σε σχέση με τους άλλους τομείς. Αυτή η προτίμηση επιβεβαιώθηκε περαιτέρω στην επακόλουθη ανάλυση με στόχο να δοθεί προτεραιότητα στους στόχους βιωσιμότητας στην Κένυα, με το SDG15 να κατατάσσεται πρώτο ως ο πιο κρίσιμος στόχος, λόγω της περιορισμένης προόδου μέχρι στιγμής. Αυτά τα αποτελέσματα συνάδουν με το εθνικό και περιφερειακό πλαίσιο, όπου η περιορισμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το αναξιόπιστο δίκτυο έχουν παρατείνει την εξάρτηση από τη μη ανανεώσιμη βιομάζα, ειδικά τα καυσόξυλα, και τη χρήση παραδοσιακών μη αποδοτικών μεθόδων μαγειρέματος να οδηγούν σε εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση και κινδύνους για την υγεία και την ευημερία. Στο πλαίσιο των αξιολογήσεών τους, τα ενδιαφερόμενα μέρη τόνισαν τη σημασία όχι μόνο του AFOLU, αλλά και των επιπτώσεων της βιώσιμης μετάβασης στη βιοποικιλότητα και το οικοσύστημα, ιδίως όσον αφορά τη χρήση βιομάζας και τη μετάβαση σε αποδοτικότερα καύσιμα.

Μετά την ενοποίηση των δύο αναλύσεων, ώστε να χρησιμοποιηθεί το ερωτηματολόγιο των SDG ώστε να τροποποιηθούν τα βάρη των κριτηρίων του ερωτηματολογίου των τομέων, ο οικιακός τομέας ξεχώρισε στην διαδικασία προτεραιοποίησης και αναδείχθηκε ως κορυφαία πολιτική και ερευνητική προτεραιότητα, ενώ παρουσίασε τα υψηλότερα επίπεδα συμφωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Ο τομέας AFOLU, αν και τώρα υστερεί, παρέμεινε αρκετά σημαντικός ως αποτέλεσμα της σταθερά ισχυρής συναίνεσης. Αυτή η νέα ιεράρχηση προτεραιοτήτων μπορεί επίσης να συνδεθεί με την ιεράρχηση του στόχου για την επίτευξη καθαρής και οικονομικά προσιτής ενέργειας (SDG7), μαζί με το SDG15. Αυτό ανέδειξε περαιτέρω τις ανησυχίες των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με την πρόκληση της περιορισμένης πρόσβασης στη σύγχρονη ενέργεια, ιδίως αν αναλογιστεί κανείς την πληθώρα σχετικών νομοθετικών πράξεων και πολιτικών για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Ταυτόχρονα, τα ενδιαφερόμενα μέρη υπαινίχθηκαν ότι οι λύσεις βραχυπρόθεσμα (και η έρευνα που τις υποστηρίζει) δεν θα πρέπει να προσανατολίζονται αποκλειστικά προς τη διάχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία μπορεί να αποδειχθεί πολύ πιο δύσκολη από την αναμενόμενη, αλλά και να λαμβάνουν υπόψη τους μετασχηματισμούς από την πλευρά της

ζήτησης στον οικιακό τομέα, έννοια που δεν της έχει δοθεί η αρμόζουσα προτεραιότητα στο τρέχον πλαίσιο πολιτικής της Κένυας. Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και η βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό τρόπο προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αντιμετώπισης των προκλήσεων και των ανησυχιών στον τομέα AFOLU. Συνολικά, οι μελλοντικές διατομεακές πολιτικές στους τομείς AFOLU και οικιακού τομέα θα πρέπει να εξετάζουν τις επιπτώσεις σε αυτά τα ζητήματα και την πρόοδο προς την επίτευξη των αντίστοιχων SDG.

Σε επίπεδο υποστήριξης χάραξης πολιτικής, η ιεράρχηση προτεραιοτήτων που παρέχεται από τα ενδιαφερόμενα μέρη φαίνεται να συνδέεται στενά με τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Κένυα, παρά τις χρόνιες προσπάθειες θέσπισης νομοθεσιών—αναγνωρίστηκαν τουλάχιστον τρεις κύκλοι από χάραξη πολιτικής—για την αντιμετώπιση των αναγνωρισμένων προκλήσεων, κάτι το οποίο αναδεικνύει μια έλλειψη προόδου. Με λιγότερο από μια δεκαετία για την εφαρμογή μιας φιλόδοξης ατζέντας έως το 2030, και καθώς διαφαίνεται ότι μπαίνουμε σε έναν τέταρτο κύκλο πολιτικών πρωτοβουλιών, η οποίο μεταξύ άλλων περιλαμβάνει πλήρη πρόσβαση σε ενέργεια και σύγχρονες/καθαρές μεθόδους μαγειρέματος, οι προσπάθειες πρέπει να ενταθούν σημαντικά και να αποφευχθούν λάθη του παρελθόντος. Πρόσφατες πρωτοβουλίες πολιτικής φαίνεται να εστιάζουν στην ενεργειακή απόδοση, τη βιομάζα και την έξυπνη γεωργία, καθώς και μια μακρά προσπάθεια για αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, αυτά είναι τα θέματα που οι ενδιαφερόμενοι επισημαίνουν ως προτεραιότητα σε αυτή την έρευνα, υποδεικνύοντας ότι, τουλάχιστον από την άποψη της πολιτικής, η χώρα κατευθύνεται προς τη σωστή κατεύθυνση. Αλλά η έλλειψη πολιτικών δεν ήταν πρόβλημα για την Κένυα στο παρελθόν, αλλά κυρίως ο συντονισμός, η αφοσίωση στους στόχους η και κατανόηση τους από μη ειδικούς (όπως απλούς πολίτες). Η επικαιροποίηση του NCCAP, που αναμένεται το 2022, παρέχει μια εξαιρετική ευκαιρία για την ενσωμάτωση αυτών των στρατηγικών σε ένα ολοκληρωμένο και ολιστικό σχέδιο δράσης για το κλίμα, αντλώντας από τις ανησυχίες των ενδιαφερόμενων μερών, όπως εκφράζονται στην παρούσα μελέτη σε μια προσέγγιση συν-διακυβέρνησης για την αποτελεσματική αναδιαμόρφωση της μελλοντικής κατεύθυνσης της χώρας.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 8

Action Against Hunger. (2020). Kenya. Retrieved from: https://www.actionagainsthunger.org/countries/africa/kenya

Adom, P. K. (2019). An evaluation of energy efficiency performances in Africa under heterogeneous technologies. Journal of Cleaner Production, 209, 1170-1181.

Adom, P. K., Amakye, K., Abrokwa, K. K., & Quaidoo, C. (2018). Estimate of transient and persistent energy efficiency in Africa: A stochastic frontier approach. Energy conversion and management, 166, 556-568.

Ageyo, J., & Muchunku, I. G. (2020). Beyond the Right of Access: A Critique of the Legalist Approach to Dissemination of Climate Change Information in Kenya. Sustainability, 12(6), 2530.

Alati, V. M., Olunga, J., Olendo, M., Daudi, L. N., Osuka, K., Odoli, C., ... & Nordlund, L. M. (2020). Mollusc shell fisheries in coastal Kenya: Local ecological knowledge reveals overfishing. Ocean & Coastal Management, 195, 105285.

Allen, C., Metternicht, G., & Wiedmann, T. (2016). National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools. Environmental Science & Policy, 66, 199-207.

Allen, C., Metternicht, G., & Wiedmann, T. (2018). Initial progress in implementing the Sustainable Development Goals (SDGs): a review of evidence from countries. Sustainability Science, 13(5), 1453-1467.

Alova, G., Trotter, P.A., Money, A. (2021). A machine-learning approach to predicting Africa's electricity mix based on planned power plants and their chances of success. Nature Energy. https://doi.org/10.1038/s41560-020-00755-9

Andersen, M. M., Ogallo, E., & Galvão Diniz Faria, L. (2021). Green economic change in Africa–green and circular innovation trends, conditions and dynamics in Kenyan companies. Innovation and Development, 1-27.

Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. Nature Climate Change, 5(3), 266-272.

Bayram, H., & Şahin, R. (2016). A simulation based multi-attribute group decision making technique with decision constraints. Applied Soft Computing, 49, 629-640.

Ben-Arieh, D., & Chen, Z. (2006). Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 36(3), 558-568.

Bonilla, R. Z., Bhandari, R., & Rodarte, A. P. (2021). Multi-attribute assessment of a river electromobility concept in the Amazon region. Energy for Sustainable Development, 61, 139-152.

Brandt, P., Herold, M., & Rufino, M. C. (2018). The contribution of sectoral climate change mitigation options to national targets: A quantitative assessment of dairy production in Kenya. Environmental Research Letters, 13(3), 034016.

Campbell, B. M., Hansen, J., Rioux, J., Stirling, C. M., & Twomlow, S. (2018). Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems. Current opinion in environmental sustainability, 34, 13-20.

Carvalho, R. L., Lindgren, R., García-López, N., Nyambane, A., Nyberg, G., Diaz-Chavez, R., & Boman, C. (2019). Household air pollution mitigation with integrated biomass/cookstove strategies in Western Kenya. Energy Policy, 131, 168-186.

Carvalho, R. L., Yadav, P., García-López, N., Lindgren, R., Nyberg, G., Diaz-Chavez, R., ... & Athanassiadis, D. (2020). Environmental sustainability of bioenergy strategies in Western Kenya to address household air pollution. Energies, 13(3), 719.

Chan, G., Goldstein, A. P., Bin-Nun, A., & Narayanamurti, V. (2017). Six principles for energy

innovation. Nature, 552(7683), 25-27.
Chisika, S. N., Park, J., & Yeom, C. (2019). The Impact of Legislation on Sustainability of Farm Forests in Kenya: The Case of Lugari Sub-County in Kakamega County, Kenya. Sustainability, 12(1), 1-1.
Climate Watch Historical GHG Emissions. (2021). Washington, DC: World Resources Institute. Retrieved from: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions
Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W. F., Azevedo, I. M., De Bruin, W. B., Dalkmann, H., ... & Weber, E. U. (2018). Towards demand-side solutions for mitigating climate change. Nature Climate Change, 8(4), 260-263.
D'agata, S., Darling, E. S., Gurney, G. G., McClanahan, T. R., Muthiga, N. A., Rabearisoa, A., & Maina, J. M. (2020). Multiscale determinants of social adaptive capacity in small-scale fishing communities. Environmental Science & Policy, 108, 56-66.
da Ponte, G. P., Calili, R. F., & Souza, R. C. (2021). Energy generation in Brazilian isolated systems: Challenges and proposals for increasing the share of renewables based on a multicriteria analysis. Energy for Sustainable Development, 61, 74-88.
Dagnachew, A. G., Hof, A. F., Lucas, P. L., & van Vuuren, D. P. (2020). Scenario analysis for promoting clean cooking in Sub-Saharan Africa: Costs and benefits. Energy, 192, 116641.
Dagnachew, A. G., Lucas, P. L., Hof, A. F., & van Vuuren, D. P. (2018). Trade-offs and synergies between universal electricity access and climate change mitigation in Sub-Saharan Africa. Energy Policy, 114, 355-366.
Dagnachew, A. G., Lucas, P. L., Hof, A. F., Gernaat, D. E., de Boer, H. S., & van Vuuren, D. P. (2017). The role of decentralized systems in providing universal electricity access in Sub-Saharan Africa–A model-based approach. Energy, 139, 184-195.
Dal Maso, M., Olsen, K. H., Dong, Y., Pedersen, M. B., & Hauschild, M. Z. (2020). Sustainable development impacts of nationally determined contributions: assessing the case of mini-grids in Kenya. Climate Policy, 20(7), 815-831.
Dalla Longa, F., & van der Zwaan, B. (2017). Do Kenya's climate change mitigation ambitions necessitate large-scale renewable energy deployment and dedicated low-carbon energy policy?. Renewable Energy, 113, 1559-1568.
de Bercegol, R., & Monstadt, J. (2018). The Kenya slum electrification program. local politics of electricity networks in Kibera. Energy Research & Social Science, 41, 249-258.
Diaz-Sarachaga, J. M., Jato-Espino, D., & Castro-Fresno, D. (2017). Methodology for the development of a new Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC). Environmental Science & Policy, 69, 65-72.
Dominguez, C., Orehounig, K., & Carmeliet, J. (2021). Estimating hourly lighting load profiles of rural households in East Africa applying a data-driven characterization of occupant behavior and lighting devices ownership. Development Engineering, 6, 100073.
Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision support models in climate policy. European Journal of Operational Research, 280(1), 1-24.
Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. Expert Systems with Applications, 37(7), 5491-5497.
Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: Delivering on the Paris Agreement. Sustainability, 10(7), 2299.
du Can, S. D. L. R., Pudleiner, D., & Pielli, K. (2018). Energy efficiency as a means to expand energy access: A Uganda roadmap. Energy Policy, 120, 354-364.
Earth's Endangered Creatures. Earthsendangered.com. (2020). Retrieved from http://earthsendangered.com/search-regions3.asp.
England, M. I., Stringer, L. C., Dougill, A. J., & Afionis, S. (2018). How do sectoral policies support climate compatible development? An empirical analysis focusing on southern Africa.

Environmental Science & Policy, 79, 9-15.
Epule, T. E., Ford, J. D., Lwasa, S., & Lepage, L. (2017). Climate change adaptation in the Sahel. Environmental Science & Policy, 75, 121-137.
Faling, M. (2020). Framing agriculture and climate in Kenyan policies: A longitudinal perspective. Environmental Science & Policy, 106, 228-239.
Fedak, K. M., Good, N., Walker, E., Clark, M. L., L'Orange, C., Volckens, J., & Peel, J. L. (2019). An expert survey on the material types used to start cookstoves. Energy for Sustainable Development, 48, 59-66.
Figueroa, A., de Moliere, L., Pegels, A., Never, B., & Kutzner, F. (2019). Show me (more than) the money! Assessing the social and psychological dimensions to energy efficient lighting in Kenya. Energy Research & Social Science, 47, 224-232.
Forouli, A., Nikas, A., Van de Ven, D. J., Sampedro, J., & Doukas, H. (2020). A multiple-uncertainty analysis framework for integrated assessment modelling of several sustainable development goals. Environmental Modelling & Software, 131, 104795.
Fu, C., & Yang, S. L. (2010). The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis. European Journal of Operational Research, 206(3), 601-608.
Gannon, K. E., Crick, F., Atela, J., & Conway, D. (2021). What role for multi-stakeholder partnerships in adaptation to climate change? Experiences from private sector adaptation in Kenya. Climate Risk Management, 100319.
Giarola, S., Mittal, S., Vielle, M., Perdana, S., Campagnolo, L., Delpiazzo, E., ... & van de Ven, D. J. (2021). Challenges in the harmonisation of global integrated assessment models: A comprehensive methodology to reduce model response heterogeneity. Science of The Total Environment, 783, 146861.
Gichenje, H., Muñoz-Rojas, J., & Pinto-Correia, T. (2019). Opportunities and limitations for achieving land degradation-neutrality through the current land-use policy framework in Kenya. Land, 8(8), 115.
Johannsen, R. M., Østergaard, P. A., & Hanlin, R. (2020). Hybrid photovoltaic and wind mini-grids in Kenya: Techno-economic assessment and barriers to diffusion. Energy for Sustainable Development, 54, 111-126.
Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., Bojar, W., Dalgaard, T., Ghaley, B. B., ... & Schönhart, M. (2018). Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. Land degradation & development, 29(8), 2378-2389.
Herrick, J. E., Neff, J., Quandt, A., Salley, S., Maynard, J., Ganguli, A., & Bestelmeyer, B. (2019). Prioritizing land for investments based on short-and long-term land potential and degradation risk: A strategic approach. Environmental Science & Policy, 96, 52-58.
Hirons, M. (2020). How the Sustainable Development Goals risk undermining efforts to address environmental and social issues in the small-scale mining sector. Environmental Science & Policy, 114, 321-328.
Huang, Y. S., & Li, W. H. (2012). A study on aggregation of TOPSIS ideal solutions for group decision-making. Group Decision and Negotiation, 21(4), 461-473.
Hyvärinen, A. M., Keskinen, M., & Levänen, J. (2020). Innovation process and uncertainties in resource-constrained environments: A case from the water service sector in East Africa. Environmental Science & Policy, 114, 242-252.
IEA. (2020). SDG7: Data and Projections. Retrieved from: https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections
IPBES. (2020). IPBES Workshop on Biodiversity and Pandemics. Retrieved from: https://ipbes.net/pandemics
IRENA. (2021). Energy Profile-Kenya. Retrieved from:

https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Africa/Kenya_Africa_RE_SP.pdf

Iyer, G., Calvin, K., Clarke, L., Edmonds, J., Hultman, N., Hartin, C., ... & Pizer, W. (2018). Implications of sustainable development considerations for comparability across nationally determined contributions. Nature Climate Change, 8(2), 124-129.

Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. Expert Systems with Applications, 40(4), 1003-1013.

Karani, I. (2018). Development of national and sub-national adaptation metrics: Lessons from Kenya. Adaptation metrics: Perspectives on measuring, aggregating and comparing adaptation results, 113.

Kazimierczuk, A. H. (2019). Wind energy in Kenya: A status and policy framework review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 107, 434-445.

Kieti, D., Nthiga, R., Plimo, J., Sambajee, P., Ndiuini, A., Kiage, E., ... & Baum, T. (2020). An African dilemma: Pastoralists, conservationists and tourists–reconciling conflicting issues in Kenya. Development Southern Africa, 37(5), 758-772.

Kiplagat, J. K., Wang, R. Z., & Li, T. X. (2011). Renewable energy in Kenya: Resource potential and status of exploitation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(6), 2960-2973.

Koasidis, K., Karamaneas, A., Kanellou, E., Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2021). Towards sustainable development and climate co-governance: a multicriteria stakeholders' perspective. In Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Development, pp. 39-74. Springer, Cham.

Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2021). Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. Environment, Development and Sustainability, 23, 23-43.

Krohling, R. A., & Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. Expert Systems with applications, 38(4), 4190-4197.

Kwanya, T. (2014). Mainstreaming indigenous knowledge in climate change response: traditional 'rainmaking'in Kenya. In The 8th International Conference on Knowledge Management in Organizations (pp. 603-615). Springer, Dordrecht.

Labella, Á., Koasidis, K., Nikas, A., Arsenopoulos, A., & Doukas, H. (2020). APOLLO: A Fuzzy Multi-criteria Group Decision-Making Tool in Support of Climate Policy. International Journal of Computational Intelligence Systems, 13(1), 1539-1553.

Leal Filho, W., Balogun, A. L., Ayal, D. Y., Bethurem, E. M., Murambadoro, M., Mambo, J., ... & Mugabe, P. (2018). Strengthening climate change adaptation capacity in Africa-case studies from six major African cities and policy implications. Environmental Science & Policy, 86, 29-37.

Leimbach, M., Roming, N., Schultes, A., & Schwerhoff, G. (2018). Long-term development perspectives of Sub-Saharan Africa under climate policies. Ecological Economics, 144, 148-159.

León, T., Liern, V., & Pérez-Gladish, B. (2019). A multicriteria assessment model for countries' degree of preparedness for successful impact investing. Management Decision.

Lucas, P. L., Hilderink, H. B., Janssen, P. H., Samir, K. C., van Vuuren, D. P., & Niessen, L. (2019). Future impacts of environmental factors on achieving the SDG target on child mortality—A synergistic assessment. Global Environmental Change, 57, 101925.

Luque, M., Pérez-Moreno, S., Robles, J. A., & Rodriguez, B. (2017). Measuring Child and Maternal Health in Developing Countries: A Proposal of New Hybrid MDG Composite Indices. Applied Research in Quality of Life, 12(3), 737-758.

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015). Prioritizing the responses to manage risks in green supply chain: An Indian plastic manufacturer perspective. Sustainable Production and

Consumption, 1, 67-86.
Martinez, L., & Herrera, F. (2012). An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. Information Sciences, 207, 1-18.
Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Wiebe, K., Rosegrant, M. W., Lowder, S. K., Nin-Pratt, A., ... & Dunston, S. (2019). Agricultural investments and hunger in Africa modeling potential contributions to SDG2–Zero Hunger. World development, 116, 38-53.
Mayer, B. (2021). Climate Change Adaptation Law: Is There Such a Thing?. Benoit Mayer & Alexander Zahar, Debating Climate Law (Cambridge University Press 2021).
McCollum, D. L., Echeverri, L. G., Busch, S., Pachauri, S., Parkinson, S., Rogelj, J., ... & Riahi, K. (2018). Connecting the sustainable development goals by their energy inter-linkages. Environmental Research Letters, 13(3), 033006.
McCowan, T. (2018). Quality of higher education in Kenya: Addressing the conundrum. International Journal of Educational Development, 60, 128-137.
Moner-Girona, M., Bódis, K., Morrissey, J., Kougias, I., Hankins, M., Huld, T., & Szabó, S. (2019). Decentralized rural electrification in Kenya: Speeding up universal energy access. Energy for Sustainable Development, 52, 128-146.
Moner-Girona, M., Puig, D., Mulugetta, Y., Kougias, I., AbdulRahman, J., & Szabó, S. (2018). Next generation interactive tool as a backbone for universal access to electricity. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 7(6), e305.
Muigua. (2020). K. Exploring Alternative Sources of Energy in Kenya.
Munene, L. N. (2019). Reducing carbon emissions: Strathmore University contributions towards sustainable development in Kenya. African Journal of Business Ethics, 13(1).
Musch, A. K., & von Streit, A. (2020). (Un) intended effects of participation in sustainability science: A criteria-guided comparative case study. Environmental Science & Policy, 104, 55-66.
Musonye, X. S., Davíðsdóttir, B., Kristjánsson, R., Ásgeirsson, E. I., & Stefánsson, H. (2021). Environmental and techno-economic assessment of power system expansion for projected demand levels in Kenya using TIMES modeling framework. Energy for Sustainable Development, 63, 51-66.
Mutangili, S. K. (2021). The Impact of Public Procurement Law on the Performance of Energy Sector in Kenya. Journal of Procurement & Supply Chain, 5(1), 35-45.
Naess, L. O., Newell, P., Newsham, A., Phillips, J., Quan, J., & Tanner, T. (2015). Climate policy meets national development contexts: Insights from Kenya and Mozambique. Global Environmental Change, 35, 534-544.
Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2020). Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131, 109988.
Nhamo, L., Mabhaudhi, T., Mpandeli, S., Dickens, C., Nhemachena, C., Senzanje, A., ... & Modi, A. T. (2020). An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study. Environmental Science & Policy, 109, 15-24.
Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. Heliyon, 4(3), e00588.
Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., Koasidis, K., Doukas, H., Cassetti, G., …, & Chiodi, A. (2021a). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. Science of the Total Environment, 793, 148549.
Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., Koasidis, K., Lund, H., Thellufsen, J. Z., ... & Doukas, H. (2021b). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. Energy, 215, 119153.
Njeru, G., Gathiaka, J., & Kimuyu, P. (2021). Explaining Electricity Tariffs in Kenya. International Journal of Business, Economics and Management, 8(2), 119-133.

Norese, M. F., Corazza, L., Bruschi, F., & Cisi, M. (2020). A multiple criteria approach to map ecological-inclusive business models for sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 1-17.

Ochieng, J., Kirimi, L., & Mathenge, M. (2016). Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small scale farmers in Kenya. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 77, 71-78.

Ochieng, W. O., Oludhe, C., & Dulo, S. (2019). Policy Options for Integrating Climate Change Adaptation into Hydropower Development in Kenya.

Olang, T. A., & Esteban, M. (2017). Sustainable Renewable Energy Financing: Case Study of Kenya. In Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design (pp. 167-179). Springer, Singapore.

Olang, T. A., Esteban, M., & Gasparatos, A. (2018). Lighting and cooking fuel choices of households in Kisumu City, Kenya: A multidimensional energy poverty perspective. Energy for Sustainable Development, 42, 1-13.

Osiolo, H. H. (2021). Cook stove technology adoption: Evidence from Kenya. Energy for Sustainable Development, 63, 133-144.

Petrichenko, K., Lister, M., & Njuguna, J. (2020). Energy efficiency policies and programmes in Kenya. In Energy Efficiency in Developing Countries (pp. 131-147). Routledge.

Rafaj, P., Kiesewetter, G., Krey, V., Schöpp, W., Bertram, C., Drouet, L., ... & van Vuuren, D. P. (2021). Air quality and health implications of 1.5–2° C climate pathways under considerations of ageing population: A multi-model scenario analysis. Environmental Research Letters.

Rambo, C. M. (2013). Renewable energy project financing risks in developing countries: Options for Kenya towards the realization of vision 2030. International Journal of Business and Finance Management Research, 1(10).

Rao, S., Klimont, Z., Leitao, J., Riahi, K., Van Dingenen, R., Reis, L. A., ... & Van Vuuren, D. P. (2016). A multi-model assessment of the co-benefits of climate mitigation for global air quality. Environmental Research Letters, 11(12), 124013.

Restrepo, M. J., Lelea, M. A., & Kaufmann, B. A. (2020). Assessing the quality of collaboration in transdisciplinary sustainability research: Farmers' enthusiasm to work together for the reduction of post-harvest dairy losses in Kenya. Environmental Science & Policy, 105, 1-10.

Rosenthal, J., Quinn, A., Grieshop, A. P., Pillarisetti, A., & Glass, R. I. (2018). Clean cooking and the SDGs: Integrated analytical approaches to guide energy interventions for health and environment goals. Energy for Sustainable Development, 42, 152-159.

Sachs, J., Meng, Y., Giarola, S., & Hawkes, A. (2019). An agent-based model for energy investment decisions in the residential sector. Energy, 172, 752-768.

Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G., Woelm, F. (2020). The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020. Cambridge: Cambridge University Press.

Sanneh, E. S. (2018). Climate Change Adaption. In Systems Thinking for Sustainable Development (pp. 41-53). Springer, Cham.

Saulo, M. J., Gaunt, C. T., & Dzobo, O. (2010, September). The impact of vision driven planning approach on electricity distribution system planning in Kenya. In 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010 (pp. 1-6). IEEE.

Schwerhoff, G., & Sy, M. (2019). Developing Africa's energy mix. Climate policy, 19(1), 108-124.

Shafabakhsh, G., Hadjihoseinlou, M., & Taghizadeh, S. A. (2014). Selecting the appropriate public transportation system to access the Sari International Airport by fuzzy decision making. European transport research review, 6(3), 277-285.

Sifuna, D. N. (2007). The challenge of increasing access and improving quality: An analysis of universal primary education interventions in Kenya and Tanzania since the 1970s.

International Review of Education, 53(5-6), 687-699.

Sognnaes, I., Gambhir, A., Van de Ven, D.-J., Nikas, A., Anger-Kraavi, A., Bui, H., Campagnolo, L., Delpiazzo, E., Doukas, H., Giarola, S., Grant, N., Hawkes, A., Koberle, A., Kolpakov, A., Mittal, S., Moreno, J., Perdana, S., Rogelj, J., Vielle, M., & Peters, G.P. (2021). A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. Nature Climate Change, 11, 1055-1062.

Taneja, J. (2018). If you build it, will they consume? Key challenges for universal, reliable, and low-cost electricity delivery in Kenya. Center for Global Development Working Paper, (491).

Tyrrell, P., du Toit, J. T., & Macdonald, D. W. (2020). Conservation beyond protected areas: Using vertebrate species ranges and biodiversity importance scores to inform policy for an east African country in transition. Conservation Science and Practice, 2(1), e136.

UNFCCC. (2020). Submission of Kenya's Updated Nationally Determined Contribution. Retrieved from: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Kenya%20First/Kenya%27s%20First%20%20NDC%20(updated%20version).pdf

Van de Ven, D. J., Sampedro, J., Johnson, F. X., Bailis, R., Forouli, A., Nikas, A., ... & Doukas, H. (2019). Integrated policy assessment and optimisation over multiple sustainable development goals in Eastern Africa. Environmental Research Letters, 14(9), 094001.

van der Zwaan, B., Kober, T., Dalla Longa, F., van der Laan, A., & Kramer, G. J. (2018). An integrated assessment of pathways for low-carbon development in Africa. Energy Policy, 117, 387-395.

van Soest, H. L., van Vuuren, D. P., Hilaire, J., Minx, J. C., Harmsen, M. J., Krey, V., ... & Luderer, G. (2019). Analysing interactions among sustainable development goals with integrated assessment models. Global Transitions, 1, 210-225.

van Vuuren, D. P., Zimm, C., Busch, S., Kriegler, E., Leininger, J., Messner, D., ... & Soergel, B. (2022). Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050. One Earth, 5(2), 142-156.

Vandyck, T., Keramidas, K., Kitous, A., Spadaro, J. V., Van Dingenen, R., Holland, M., & Saveyn, B. (2018). Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. Nature communications, 9(1), 1-11.

Vezzoli, C., Ceschin, F., Osanjo, L., M'Rithaa, M. K., Moalosi, R., Nakazibwe, V., & Diehl, J. C. (2018). Energy and sustainable development. In Designing Sustainable Energy for All (pp. 3-22). Springer, Cham.

Waaswa, A., Oywaya Nkurumwa, A., Mwangi Kibe, A., & Ngeno Kipkemoi, J. (2021). Climate-Smart agriculture and potato production in Kenya: review of the determinants of practice. Climate and Development, 1-16.

World Health Organization. (2015). Climate and health country profile 2015: Kenya. Retrieved from: https://apps.who.int/iris/handle/10665/246133

Winther, T., Ulsrud, K., & Saini, A. (2018). Solar powered electricity access: Implications for women's empowerment in rural Kenya. Energy research & social science, 44, 61-74.

Workman, M., Dooley, K., Lomax, G., Maltby, J., & Darch, G. (2020). Decision making in contexts of deep uncertainty-An alternative approach for long-term climate policy. Environmental Science & Policy, 103, 77-84.

Xu, X. H., Du, Z. J., & Chen, X. H. (2015). Consensus model for multi-criteria large-group emergency decision making considering non-cooperative behaviors and minority opinions. Decision Support Systems, 79, 150-160.

Yatich, K. H. (2018). Realizing energy management practices as a competitive strategy among manufacturing firms in Kenya: An alternative outlook. African Journal of Business Management, 12(12), 372-380.

Yoon, K., & Hwang, C. L. (1981). TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)–a multiple attribute decision making, w: Multiple attribute decision making–methods and applications, a state-of-the-at survey. Berlin: Springer Verlag.

Zhang, H., Dong, Y., & Herrera-Viedma, E. (2017). Consensus building for the heterogeneous large-scale GDM with the individual concerns and satisfactions. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 26(2), 884-898.

Κεφάλαιο 9. Η διασύνδεση προσομοιώσεων Monte-Carlo στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες: διαφορές απόψεων ειδικών στη βιωσιμότητα και ειδικών στη μοντελοποίηση

9.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη συζητηθεί, η επίτευξη των κλιματικών στόχων είναι ιδιαίτερα δύσκολη (Peters et al., 2017; Sognnaes et al., 2022; Jewell and Cherp, 2020; Meinshausen et al., 2022) και απαιτεί σημαντική επιτάχυνση των προσπαθειών (Grant, 2022; Ou et al., 2021). Ωστόσο, ενώ μια τέτοια πορεία ήταν δύσκολη από μόνη της, οι προσπάθειες καθίσταται ακόμη πιο δύσκολες σήμερα υπό το πρίσμα ενός συνδυασμού παγκόσμιων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, συμπεριλαμβανομένης μιας εξελισσόμενης οικονομικής ύφεσης, μιας συνεχώς μαινόμενης πανδημίας (COVID-19) που επηρεάζει άμεσα την πορεία προς τη βιωσιμότητα (Elsamadony et al., 2022; Ranjbari et al., 2021) και την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία το 2022, οδηγώντας σε μεγάλο βαθμό σε κρίση τιμών ενέργειας.

Για να διευκολυνθεί η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών και να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ επιστημόνων μοντελοποίησης και μη ειδικών στη χρήση αυτών, επιτρέποντας σε πρόσθετες ομάδες την διαμόρφωση και έκφραση γνώμης, η οποία μας απασχολεί στην παρούσα Ενότητα III, έχει προταθεί επίσης η χρήση ασαφών γνωστικών χαρτών (FCMs) (Kosko, 1986) (van Vliet et al., 2010; Mallampalli et al., 2016), μιας τεχνικής επιχειρησιακής έρευνας πέραν των MCDA αναλύσεων που αξιοποιήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Σε σύγκριση με τα ποσοτικά μοντέλα όπως τα IAMs, τα FCMs προσφέρουν μια πολύ πιο απλοποιημένη αναπαράσταση σχέσεων αιτιότητας και της διάδοσης αυτής μέσα σε πολύπλοκα συστήματα (Stylios and Groumpos, 2004), απαντώντας έτσι σε μια βασική κριτική για την πολυπλοκότητα των κατά τα άλλα χρήσιμων IAMs (Gambhir et al., 2019; Robertson, 2021; Krey et al., 2019; Peters, 2016; Keppo et al., 2021) και την αβεβαιότητα που αυτή η πολυπλοκότητα εισάγει (Yang et al., 2021), ενώ ενσωματώνουν την ανθρώπινη γνώση και αντίληψη για να αντισταθμίσουν την έλλειψη αναλυτικών ποσοτικών δεδομένων (Papageorgiou et al., 2017), και γι' αυτό συνήθως κατασκευάζονται από και προς όφελος των ενδιαφερόμενων μερών (Özesmi and Özesmim, 2004). Ως εκ τούτου, αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη δημιουργία ενός χώρου εντός της επιστημονικής διαδικασίας για εμπλοκή μη ειδικών σε ασκήσεις με χρήση μοντέλων, που μέχρι στιγμής ενώ η αξία τους τονίζεται ολοένα και περισσότερο (Hamilton et al., 2015; Nikas et al., 2021b; Nabavi et al., 2017) παραμένουν περιορισμένες (Nikas et al., 2021a; Ausseil et al., 2019·

Rodrigues et al., 2022), ενώ παράλληλα ξεκλειδώνουν πολύπλοκα συστήματα και προσφέρουν μια αναπαράσταση και οπτικοποίηση που είναι κατανοητή σε όλα τα ακροατήρια, επιτρέποντάς τους να αντλήσουν χρήσιμα αποτελέσματα που μπορούν να εμπιστευτούν και να μετατρέψουν σε πρακτική δράση (Nikas et al., 2019b). Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις βασικές πρόσφατες εφαρμογές των FCM στον ευρύ τομέα ενέργειας-κλίματος-περιβάλλοντος-βιωσιμότητας, συμπεριλαμβανομένου του χώρου πολιτικής (Doukas and Nikas, 2020).

Πίνακας 9.1. Βιβλιογραφία FCM στον τομέα της ενέργειας-κλίματος-περιβάλλοντος-βιωσιμότητας

Study	FCM method	Region	Energy	Climate	Environment	Sustainability
(Ameli et al., 2022)	Conventional FCM	Iran	(✓)	(✓)	(✓)	✓
(Antosiewicz et al., 2020)	Conventional FCM, MEMO	Poland	✓	(✓)		
(Assunção et al., 2020)	Conventional FCM	N/A			(✓)	✓
(Fonseca et al., 2022)	Conventional FCM	Ecuador			✓	
(Kokkinos et al., 2020)	Decision Support Tool based on FCM	Greece	✓		✓	
(Magazzino and Falcone, 2022)	Dynamic Auto-Regressive Distributed Lags, FCM	Switzerland		✓	✓	
(Morone et al, 2020)	FCM, artificial neural networks	Italy			✓	
(Mpelogianni and Groumpos, 2019)	State FCMs combined with learning algorithms	N/A	✓			
(Natarajan et al., 2016)	FCM, Learning Algorithms (Hebb-based and evolutionary-based)	India			✓	
(Nikas et al., 2020)	FCM, Business Strategy Assessment Model	Greece	✓			
(Papageorgiou et al., 2013)	FCM, non-linear Hebbian learning	Greece			✓	

Study	FCM method	Region	Energy	Climate	Environment	Sustainability
(Peng and Wu, 2017)	FCM with Genetic Algorithm	China			✓	
(Poczęta et al., 2018a)	FCM, evolutionary learning algorithm	N/A	✓	(✓)		
(Poczęta et al., 2018b)	FCM, Structure Optimization Genetic Algorithm	N/A	✓			
(Qiao et al., 2022)	High-order FCM combined with variational mode decomposition	N/A	✓			
(Rezaee et al., 2019)	Interpretative Structural Modelling, FCM, Slack-Based Data Envelopment Analysis	Iran	✓			
(Song et al, 2020)	Conventional FCM	China	✓			

Παρά την αδιαμφισβήτητη συμβολή τους στη διαφάνεια και τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των ολοκληρωμένων περιβαλλοντικών εκτιμήσεων (Mourhir, 2021), τα FCM έχουν επίσης—όπως και τα μοντέλα—επικριθεί για την έλλειψη ικανότητάς τους να χειρίζονται αβέβαιες πληροφορίες (Baykasoğlu και Gölcük, 2021). Οι βασικοί περιορισμοί περιστρέφονται γύρω από την περιορισμένη ικανότητα αναπαράστασης του χρόνου (Nair et al., 2020; Liu et al., 2022), την εξάρτηση τους από αρχικές επιλογές (π.χ. συναρτήσεις μεταφοράς και αριθμητικές τιμές των παραμέτρων που σχετίζονται με αυτές) που πραγματοποιούνται από τον αναλυτή και όχι από τους εμπειρογνώμονες του τομέα (Papageorgiou, 2010), και οι κίνδυνοι μη σύγκλισης/λύσης ανάλογα με τη δομή του χάρτη και τις εισόδους καθώς η επίλυση τους συνιστά μια επαναληπτική διαδικασία (Nápoles et al., 2016). Οι μέχρι τώρα προσπάθειες διαχείρισης της αβεβαιότητας περιλαμβάνουν χειροκίνητες απόπειρες και προσομοιώσεις με βάση διαφορετικές τιμές σε σημαντικές παραμέτρους για τον εντοπισμό κοινών μοτίβων στα αποτελέσματα (Knight et al., 2014). Από την άλλη, πιο περίπλοκες προσπάθειες εισαγωγής πιθανοτικής αβεβαιότητας έχουν οδηγήσει σε απαιτήσεις βελτιστοποίησης για την αποφυγή ζητημάτων σύγκλισης (Sacchelli και Fabbrizzi, 2015), οδηγώντας στην απώλεια των γνωστικών πληροφοριών που παρέχονται από τα ενδιαφερόμενα μέρη (πχ., αλλαγή των βαρών).

Πρόσφατες έρευνες σχετικά με τη σύγκλιση των FCM (Harmati et al., 2021) και την επιλογή των παραμέτρων της συνάρτησης μεταφοράς (Koutsellis et al., 2022) έχουν ανοίξει το δρόμο για πιο την πιο ουσιαστική ενσωμάτωση της αβεβαιότητας στα FCM. Συγκεκριμένα, οι Baykasoğlu και Gölcük (2021) άντλησαν από την πρόοδο στον υπολογισμό σταθερών σημείων και εισήγαγαν πρακτικές από την ασαφή λογική στα FCM, επιτρέποντας την αναπαράσταση μέρους της αβεβαιότητας του συστήματος.

Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη αυτή έχει διττό στόχο. Πρώτον, αναγνωρίζοντας την υποκειμενικότητα στη διαδικασία αναπαράστασης της γνώσης εμπειρογνωμόνων (Nair et al., 2019), στοχεύει στην επέκταση της αναπαράστασης της αβεβαιότητας στα FCM, εισάγοντας στοχαστική αβεβαιότητα βασισμένη σε προσομοιώσεις Monte Carlo σε FCM. Αυτή η προσέγγιση έχει βρεθεί πολλά υποσχόμενη σε παρόμοιους τομείς (Raoufi et al., 2020; Koasidis et al., 2022b; Forouli et al., 2020), αλλά δεν έχει δοκιμαστεί στα FCM (Nguyen and Fayek, 2022). Δεύτερον, αντλώντας από εκκλήσεις για ενίσχυση του ρόλου των FCM στην ολοκληρωμένη περιβαλλοντική εκτίμηση (Mourhir, 2021), στοχεύει στην ενημέρωση των μοντέλων σχετικά με τις προτεραιότητες βιώσιμης πολιτικής (von Stechow et al., 2016), στην αύξηση της ικανότητάς τους να ανταποκρίνονται σε ευρύτερα ερωτήματα βιωσιμότητας, ενισχύοντας την μέχρι τώρα περιορισμένη πρόοδο (Soergel et al., 2021b; van Vuuren et al., 2022; Poblete-Cazenave et al., 2022; van de Ven et al., 2019) και στην ενίσχυση της ετοιμότητάς τους να αντιμετωπίζουν πολύπλευρες προκλήσεις που εισάγουν αβεβαιότητα, όπως οι κρίσεις. Αναπτύσσουμε και χρησιμοποιούμε μια υβριδική προσέγγιση Monte Carlo-Fuzzy Cognitive Mapping (MCFCM) σε μια μελέτη περίπτωσης που προσομοιώνει τον αντίκτυπο των οικονομικών κρίσεων (π.χ. ύφεση), των υγειονομικών κρίσεων (π.χ. πανδημία) και των διεθνών συγκρούσεων (π.χ. πόλεμος) που είναι κοντά στις σύγχρονες προκλήσεις και που θέτουν σε κίνδυνο την πρόοδο σε διάφορους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης (SDGs). Με τις κρίσεις να αποτελούν σημαντική πηγή αβεβαιότητας και την αναπαράσταση των διαστάσεων βιωσιμότητας σε συμβατικές προσεγγίσεις ποσοτικής μοντελοποίησης μόλις πρόσφατα να αρχίζει να ξετυλίγεται, η μελέτη αυτή αντλεί από μια παγκόσμια έρευνα εμπειρογνωμόνων στη βιωσιμότητα και ειδικών στη χρήση μοντέλων σχετικά με τη σημασία των αλληλεπιδράσεων SDG και σχετικά με τις τρέχουσες δυνατότητες των IAMs να αντιπροσωπεύουν αυτές τις αλληλεπιδράσεις (van Soest et al., 2019). Συνολικά, η μελέτη στοχεύει να απαντήσει σε τρία ερευνητικά ερωτήματα, με βάση προσομοιώσεις FCM σχέσεων αιτιότητας μεταξύ των SDGs και της εισαγωγής διαταραχών κρίσεων:

- Ποιος είναι ο αντίκτυπος των οικονομικών, υγειονομικών και γεωπολιτικών κρίσεων σε ολόκληρο το φάσμα των SDG;
- Πώς διαφέρουν αυτές οι σχέσεις αιτιότητας μεταξύ εμπειρογνωμόνων ειδικών στον τομέα της βιωσιμότητας και ειδικών στη χρήση μοντέλων IAM και πώς περιορίζονται οι αντιλήψεις τους από τις τρέχουσες δυνατότητες μοντελοποίησης;
- Ποια είναι η προστιθέμενη αξία μιας προσέγγισης MCFCM σε αντίθεση με τα συμβατικά FCM όσον αφορά τα εξαγόμενα συμπεράσματα υπό καθεστώς αβεβαιότητας;

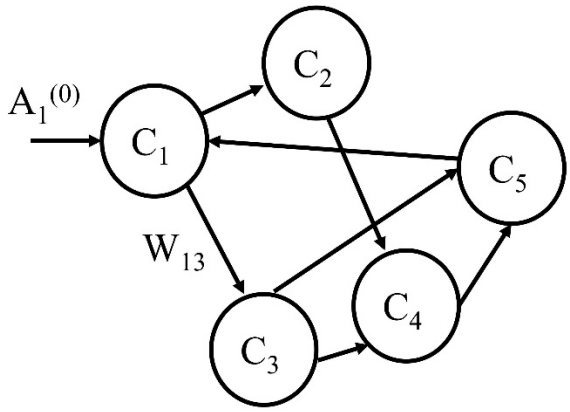
9.2 Μεθοδολογία και εργαλεία

9.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες

Ένα FCM αποτελείται από κόμβους και ακμές, στη λογική ενός γράφου, όπου κάθε κόμβους αναπαριστά μια έννοια ενός γνωστικού πλαισίου ή ένα κομμάτι του συστήματος, ανάλογα με το τι διαπραγματεύεται ο χάρτης, και οι ακμές περιγράφουν πώς οι έννοιες αυτές διασυνδέονται, την κατεύθυνση, καθώς επίσης και το βαθμό (βάρος) της επιρροής μεταξύ τους ή αλλιώς της αιτιώδους σχέσης. Μια αρχική τιμή (διαταραχή) παρέχεται σε ένα υποσύνολο των κόμβων που θεωρούνται κόμβοι εισόδου του συστήματος, και στους οποίους πρακτικά δίνεται το σήμα εκκίνησης για την ενεργοποίηση του χάρτη. Στη συνέχεια, το FCM υπολογίζει την επίδραση του σήματος εισόδου σε όλους τους κόμβους του συστήματος, μέσω της αιτιώδους διάδοσης αυτής της εισόδου σε όλους τους κόμβους, με βάση την ακόλουθη έκφραση στη λογική μιας επαναληπτικής διαδικασίας:

$$A_i^{k+1} = f_h\left(x_i^k\right) = f_h\left(\sum_{j=1, j\neq i}^{n}\left(w_{ij}A_j^k + A_i^k\right)\right) \tag{9.1}$$

όπου $A_i^{(k+1)}$ είναι η τιμή του κόμβου i στο τέλος της επανάληψης k, A_i^k είναι η τιμή του κόμβου i στην αρχή της επανάληψης k, A_j^k είναι η τιμή του κόμβου j στην αρχή της επανάληψης k, n είναι ο αριθμός των κόμβων που περιλαμβάνονται στο FCM, w_{ij} είναι το βάρος της σχέσης αιτιότητας μεταξύ των κόμβων j και i, και f_h είναι μια συνάρτηση μεταφοράς που χρησιμοποιείται συνήθως για τη συμπίεση των τιμών εντός ενός συγκεκριμένου πεδίου τιμών. Μια απλή έκδοση ενός τυπικού FCM παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.1.



Εικόνα 9.1. Τυπική δομή ενός FCM. Το παράδειγμα περιλαμβάνει έναν χάρτη πέντε κόμβων (C1-C5), διασυνδεδεμένων με ακμές/βάρη (π.χ. $\boldsymbol{W_{13}}$) που ενεργοποιείται από ένα σήμα $\boldsymbol{A_1^{(0)}}$ στον κόμβο C1 (κόμβος εισόδου). Η διάδοση του σήματος επαναλαμβάνεται με βάση την Εξ. 9.1, έως ότου συγκλίνουν οι τιμές όλων των κόμβων (δηλαδή, φτάνουν σε σταθερή κατάσταση).

Αν και υπάρχουν αρκετές συναρτήσεις μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία των FCM, οι πιο σημαντικές και χρησιμοποιούμενες είναι η σιγμοειδής συνάρτηση (Εξ. 9.2) και η υπερβολική εφαπτομένη (Εξ. 9.3) (Groumpos and Stylios, 2000):

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda x)} \tag{9.2}$$

$$f_h = \frac{\exp(\lambda x) - \exp(-\lambda x)}{\exp(\lambda x) + \exp(-\lambda x)} = \frac{\exp(2\lambda x) + 1}{exp(2\lambda x) - 1} \tag{9.3}$$

Τυπικά, η επιλογή μεταξύ των δύο εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος. Η υπερβολική εφαπτομένη φράσει τις τιμές στο διάστημα $[-1,1]$ και επομένως επιτρέπει κόμβους που λαμβάνουν αρνητικές τιμές, ενώ η σιγμοειδής συνάρτηση λειτουργεί για θετικές τιμές στο διάστημα $[0,1]$ και επομένως χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου τα πρόσημα των κόμβων συμπεριλαμβανομένων των κόμβων εισόδου θεωρούνται εξ ορισμού θετικοί αριθμοί.

Η Εξ. 9.1 δίνει την τελική κατάσταση ισορροπίας των FCM ύστερα από την διαταραχή που προκλήθηκε εξαιτίας της αρχικής τιμής σήματος που δόθηκε στο χάρτη, αναμένοντας σύγκλιση των FCM μετά τις $k = N$ επαναλήψεις. Ωστόσο, καθώς μιλάμε για μια επαναληπτική διαδικασία όπου το σήμα εισόδου μπορεί να καταλήγει πίσω στον εαυτό του και η διαδικασία να επαναλαμβάνεται, η εν λόγω σύγκλιση δεν είναι πάντα εγγυημένη (Koutsellis et al., 2022; Harmati και Kóczy, 2018; Harmati et al., 2021), καθιστώντας δύσκολη την εισαγωγή πιθανοτικής

αβεβαιότητας στα FCM. Για να διασφαλιστεί η σύγκλιση, έχει προταθεί η παράμετρος οριοθέτησης $\hat{\lambda}$ των συναρτήσεων μεταφοράς θέτοντας συγκεκριμένα όρια στις τιμές της παραμέτρου (π.χ., Knight et al., 2014; Lee και Kwon; 2010). Επεκτείνοντας αυτές τις ερευνητικές εργασίες, οι Koutsellis et al. (2022) πρότειναν έναν τύπο για τον υπολογισμό των τιμών του $\hat{\lambda}$ ώστε η συνάρτηση μεταφοράς να λειτουργεί εντός της «σχεδόν γραμμικής περιοχής». Αυτή η επιλογή παραμέτρων $\hat{\lambda}$ σχετίζεται με την τοπολογία του FCM και επομένως είναι συνάρτηση του πίνακα βάρους W (π.χ., νόρμα Frobenious), άρα ορίζεται για κάθε χάρτη ξεχωριστά.

9.2.2 Ενσωμάτωση προσομοιώσεων Monte Carlo στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες

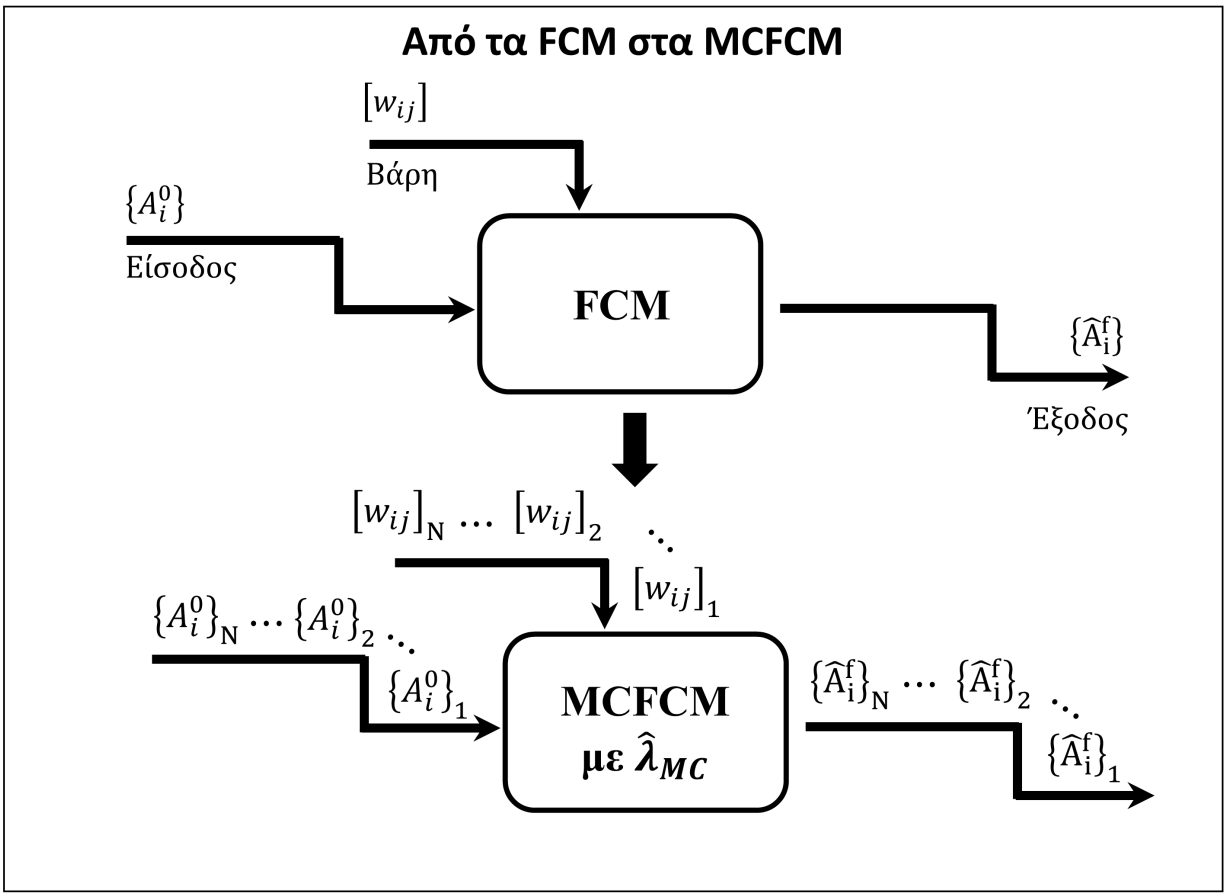
Οι προσομοιώσεις Monte Carlo αποτελούν ένα πλαίσιο που επιτρέπει την εκτίμηση των επιπτώσεων της διάδοσης της αβεβαιότητας σε ένα σύστημα. Στην πράξη, τα περισσότερα συστήματα δεν είναι πλήρως ντετερμινιστικά, ενσωματώνοντας αβεβαιότητες σε διάφορα σημεία τους, συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της δομής τους και των σχέσεων που συνδέουν την είσοδο με την έξοδο, ενώ αβεβαιότητα μπορεί να υπάρχει και στις υποτιθέμενες εισροές. Η προσομοίωση Monte Carlo συνιστά μια εξαντλητική διαδικασία για την εκτίμηση αυτού του είδους της διάδοσης της αβεβαιότητας, υποθέτοντας ορισμένες στατιστικές κατανομές για τις εισόδους ή/και τις παραμέτρους ενός συστήματος, ώστε να εξάγει την αντίστοιχη κατανομή της εξόδου, μέσα από ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων. Στην περίπτωση των FCM, όπου το αναπαριστώμενο σύστημα διέπεται από την Εξ. (9.1), η αβεβαιότητα του συστήματος συνίσταται στις τιμές w_{ij} του πίνακα βάρους, δηλαδή την αβεβαιότητα στη σχέση αιτιότητας μεταξύ των κόμβων, και των τιμών A_i^0 των κόμβων εισόδου, δηλαδή το σήμα υπό εξέταση, οι οποίες αποτελούν τα βασικά στοιχεία που οδηγούν τις εξόδους ενός FCM. Μάλιστα, στην περίπτωση των βαρών, επειδή αυτά συνήθως καθορίζονται από ενδιαφερόμενα μέρη, η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να εκφράζει την υποκειμενική φύση του ανθρώπινου παράγοντα.

Η εισαγωγή πιθανοτικής αβεβαιότητας στα βάρη μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo υποδηλώνει ότι κάθε επανάληψη θα έδινε ένα διαφορετικό $\hat{\lambda}$ (καθώς αυτό εξαρτάται από την τοπολογία του χάρτη; για να εξασφαλίζεται η σύγκλιση), πράγμα που σημαίνει ότι διαφορετικά βάρη οδηγούν σε διαφορετικά $\hat{\lambda}$ και με τη σειρά τους σε εντελώς διαφορετικά FCM, ένα φαινόμενο που είναι αντίθετο με το σκοπό της προσέγγισης της μεθόδου Monte Carlo, η οποία στηρίζεται στη λογική της σύγκλισης (η σύγκλιση της Monte Carlo είναι διαφορετική από τη σύγκλιση ενός FCM) ύστερα από έναν αριθμό επαναλήψεων. Η πρόοδος ωστόσο στην εξασφάλιση της σύγκλισης των FCM επιτρέπει με τροποποιήσεις την πραγματοποίηση μιας

τέτοιας διασύνδεσης ανάμεσα σε FCM και Monte Carlo (MCFCM). Ως εκ τούτου, επεκτείνουμε την επιλογή του $\hat{\lambda}$ από τους Koutsellis et al. (2022) για να διασφαλίσουμε ότι κάθε επανάληψη έχει μια καθολική (σταθερά) τιμή $\hat{\lambda}$ χωρίς να θέτουμε σε κίνδυνο τη σύγκλιση του FCM, που ονομάζουμε $\hat{\lambda}_{MC}$. Για να υπολογιστεί αυτή η τιμή, θεωρούμε ότι η παράμετρος $\hat{\lambda}$ είναι συνάρτηση όλων των τιμών w_{ij} (εκτός από αυτές που ισούνται με το μηδέν) και, εξ ορισμού (Koutsellis et al., 2022), λαμβάνεται η μικρότερη και επομένως ασφαλέστερη δυνατή τιμή $\hat{\lambda}_{MC}$ για να διασφαλιστεί ότι η προσομοίωση FCM αποδίδει πάντα αποτελέσματα (δηλαδή, δεν αποδίδει χαοτική συμπεριφορά), η οποία προκύπτει από τον χάρτη για $|w_{ij}| = 1, \forall\, i, j$, εκτός από εκείνες που αναφέρονται σε ανύπαρκτους συνδέσμους (δηλαδή, όπου $w_{ij} = 0$).

Από την άλλη, η εκτέλεση μιας προσομοίωσης Monte Carlo για να ληφθεί υπόψιν η αβεβαιότητα στα σήματα εισόδου είναι απλή, καθώς αυτά δεν αποτελούν μέρος της τοπολογίας και άρα δεν έχουν καμία επίδραση στην τιμή $\hat{\lambda}$ ούτε αλλάζουν το FCM για κάθε επανάληψη.

Στην Εικόνα 9.2 αποδίδεται η σχηματική αναπαράσταση της λογικής της μεθοδολογίας MCFCM.



Εικόνα 9.2. Η προτεινόμενη μέθοδος Monte Carlo Fuzzy Cognitive Mapping (MCFCM)

Για να δημιουργήσουμε τα δείγματα των τυχαίων μεταβλητών A_i^0 και w_{ij} με βάση τις αρχικές τιμές, επιλέγουμε την κατανομή Beta η οποία ορίζεται σε ένα οριοθετημένο διάστημα, όπως και η είσοδος του FCM. Το στήριγμα της κατανομής Beta είναι το διάστημα [0,1], το οποίο είναι κατάλληλο για τις τιμές A_i^0 όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία μεταφοράς σιγμοειδούς (όπως στην παρούσα μελέτη), ενώ με κατάλληλες τροποποιήσεις η κατανομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την υπερβολική εφαπτομένη.

9.2.3 Κατασκευή χαρτών, δεδομένα εισόδου και σχεδιασμός σεναρίων

Για να απαντήσουμε στα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στην εισαγωγή του κεφαλαίου, χρησιμοποιούμε τόσο την τυπική μεθοδολογία FCM όσο και την αναβαθμισμένη έκδοση MCFCM σε μια τοπολογία που περιστρέφεται γύρω από τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης της Ατζέντας 2030 των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, εισάγοντας κάθε SDG ως κόμβο, πριν προσθέσουμε τρεις «κόμβους κρίσης» οι οποίοι συνιστούν τους κόμβους εισόδου

του συστήματος, και αντιπροσωπεύουν τρεις διαφορετικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης: χρηματοπιστωτικές κρίσεις (π.χ. ύφεση, πληθωρισμός, κ.λπ.), υγειονομικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. πανδημία) και διεθνείς συγκρούσεις (π.χ. πόλεμος, γεωπολιτικές συγκρούσεις). Ο σχεδιασμός αυτής της τοπολογίας στοχεύει στην αξιολόγηση των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων από τις εξεταζόμενες κρίσεις σε ολόκληρο το φάσμα των SDG. Τα βάρη των κόμβων διαμορφώνονται με βάση μια παγκόσμια έρευνα που παρουσιάστηκε από τους van Soest et al. (2019), στην οποία εμπειρογνώμονες στο τομέα βιωσιμότητας από τη μία πλευρά και ειδικοί στη χρήση των μοντέλων IAM από την άλλη κλήθηκαν να αξιολογήσουν τη σημασία κάθε αλληλεπίδρασης SDG (εννοιολογική ομοιότητα με τις ακμές ενός FCM). Αντλώντας από τη γνώση των ειδικών επί των μοντέλων που συμμετείχαν στην εν λόγω μελέτη, δόθηκαν επιπλέον ενδείξεις σχετικά με το ποιες αλληλεπιδράσεις μπορούν ήδη ή αναμένεται να μπορούν να αναπαρασταθούν στα IAMs. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, κατασκευάζουμε τέσσερεις FCM χάρτες βασισμένο στον κορμό της τοπολογίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.3, αντικατοπτρίζοντας: (α) τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDGs, σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες βιωσιμότητας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες μοντελοποίησης ("experts"); β) τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDG, σύμφωνα με τους ειδικούς στη χρήση μοντέλων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες μοντελοποίησης (“modellers"); γ) τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDG, σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες βιωσιμότητας, αλλά περιορισμένες με βάση τις δυνατότητες μοντελοποίησης (“experts constrained by modelling capacities"); και δ) τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDG, σύμφωνα με τους ειδικούς στη χρήση μοντέλων, αλλά περιορισμένες με βάση τις δυνατότητες μοντελοποίησης (“modellers constrained by modelling capacities").

Όσον αφορά τα δεδομένα εισόδου, αντλούμε από τις πρωτογενής πηγές που συλλέχθηκαν από τους van Soest et al. (2019) με τη μορφή δομημένων ερευνών. Εδώ να διευκρινιστεί για λόγους διαφάνειας ότι στα πλαίσια της μελέτης του παρόντος κεφαλαίου δεν πραγματοποιείται ξεχωριστή διαδικασία (πχ., workshop) στην οποία εμπλέκονται ενδιαφερόμενα μέρη, αλλά βασιζόμαστε αμιγώς στα πρωτογενή δεδομένη (με την συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών) που συλλέχθηκαν από τους van Soest et al. (2019), τα οποία μετεπεξεργαζόμαστε για να παράξουμε προστιθέμενη αξία. Συγκεκριμένα, η μελέτη που βασιζόμαστε προσέγγισε 20 εμπειρογνώμονες στη βιωσιμότητα και 12 ομάδες μοντελοποίησης μιας κοινοπραξίας ερευνητικού έργου και, μεταξύ άλλων, τους ζήτησε να αξιολογήσουν τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ

διαφορετικών SDGs χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές. Στην περίπτωση των ειδικών επί των μοντέλων, τέθηκαν πρόσθετες ερωτήσεις σχετικά με την ικανότητα των μοντέλων να αντιπροσωπεύουν ορισμένες αλληλεπιδράσεις SDG, καθώς και προγραμματισμένες και πιθανές επεκτάσεις. Οι απαντήσεις συγκεντρώθηκαν ξεχωριστά για τις δύο διαφορετικές ομάδες, για να παράγουν μια τελική βαθμολογία που αναπαριστά το επίπεδο και τη συμβολή των αλληλεπιδράσεων SDG για κάθε ομάδα ξεχωριστά, καθώς και την ικανότητα των μοντέλων να αντιπροσωπεύουν τις εν λόγω αλληλεπιδράσεις (για τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας, βλ. van Soest et al. 2019; Εικόνα S.4). Επομένως, ο σχεδιασμός του γνωστικού πλαισίου στην περίπτωση μας (δηλαδή ποιοι κόμβοι είναι διασυνδεδεμένοι και με τι βάρος) καθορίζεται από τη συμβολή αυτών των εμπειρογνωμόνων και των ειδικών στα μοντέλα στους αντίστοιχους χάρτες. Συγκεκριμένα, εάν οι εμπειρογνώμονες συνολικά δεν διαπίστωσαν αλληλεπίδραση μεταξύ δύο SDG, τότε αυτά δεν διασυνδέονται στον χάρτη των εμπειρογνωμόνων. Αντίθετα, εάν οι εμπειρογνώμονες υποθέσουν ότι υπάρχει αλληλεπίδραση, οι SDGs συνδέονται και μάλιστα με το βάρος που υποδεικνύουν. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τους ειδικούς στα μοντέλα.

Στην περίπτωση των συνδέσεων, τα ακριβή βάρη αυτών καθορίζονται με περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας από τους Soest et al. (2019). Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις πολλαπλές ημι-γλωσσικές κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν από τους van Soest et al. (2019) όσο και τις απαιτήσεις ενός FCM όσον αφορά την είσοδο, όλες οι τιμές κανονικοποιούνται εντός του διαστήματος $[0,1]$, ώστε να αντικατοπτρίζουν τη σημασία των αλληλεπιδράσεων (ένα πολύ μικρό υποσύνολο σταθμίσεων από την αρχική έρευνα είναι αρνητικό και επομένως αντιμετωπίζεται εδώ ως απόλυτες τιμές για συνέπεια μεταξύ των χαρτών). Για να εισαγάγουμε τις δυνατότητες μοντελοποίησης (στους δύο σχετικούς χάρτες), καθορίζουμε όρια με βάση το αν μια αλληλεπίδραση αντιπροσωπεύεται ήδη σε μοντέλα, η αναπαράστασή της βρίσκεται σε εξέλιξη ή σχεδιάζεται (ζυγίζοντας διαφορετικά κάθε μία από αυτές τις επιλογές ανάλογα με το επίπεδο ετοιμότητας μιας διασύνδεσης στα IAM). Εάν η αναπαράσταση δεν προγραμματιστεί στο άμεσο μέλλον, απορρίπτουμε τον σύνδεσμο από τον πίνακα βάρους στους χάρτες με τους περιορισμούς.

Οι «κόμβοι κρίσης» (κόμβοι εισόδου) συνδέονται με ένα υποσύνολο των SDG, αντλώντας από τις πρόσφατες εξελίξεις, π.χ. μια υγειονομική κρίση συνδέεται άμεσα και κατά προφανή τρόπο με το SDG3, ενώ, με βάση την πρόσφατη εμπειρία από την COVID-19, αναμένεται να έχει επίσης άμεσες επιπτώσεις στην οικονομία (SDG8 για τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη). Ο Πίνακας 9.2

αναλύει της επιλογές πίσω από αυτούς τους συνδέσμους. Η έλλειψη άμεσης σύνδεσης στον χάρτη ανάμεσα σε κόμβους κρίσης και SDG δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ τους αλλά ότι αυτός ο σύνδεσμος μπορεί να είναι έμμεσος. Στην περίπτωση αυτή, δεν επιβλήθηκε μια σύνδεση, ώστε να επιτραπεί στις διασυνδέσεις μεταξύ των SDG να προσδιορίσουν την αξία αυτών των έμμεσων επιδράσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, επιλέγουμε τη συνάρτηση μεταφοράς σιγμοειδούς για την ανάλυση, καθώς η έξοδος FCM πρέπει να αντιστοιχιστεί εντός του διαστήματος $[0,1]$, ώστε τιμές κοντά στο 1 στους κόμβους να υποδεικνύουν σημαντική επίδραση της κρίσης στην αξία ενός SDG στην ατζέντα βιωσιμότητας, ενώ αντίστοιχα για το σήμα εισόδου το 1 συμβολίζει υψηλό επίπεδο κρίσης.

Πίνακας 9.2. Σχέση μεταξύ των «κόμβων κρίσης» εισόδου και των SDG.

"Κόμβος κρίσης"	Στην Πράξη	Συνδεδεμένοι SDGs	Σχέση με τους SDG
Υγειονομική	COVID-19	SD3, SDG8, SDG9, SDG7	Οι επιπτώσεις των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης στον τομέα της υγείας στον *SDG3* είναι προφανείς. Η αντιμετώπιση της πανδημίας με βάση τα lockdown και άλλους περιορισμούς οδήγησε επίσης στην απώλεια θέσεων εργασίας και είχε ευρύτερες οικονομικές επιπτώσεις (*SDG8*). Λόγω των περιοριστικών μέτρων, οι βιομηχανικές διαδικασίες επιταχύνθηκαν, ενώ τονίστηκε ο ρόλος των υποδομών (υγειονομική περίθαλψη, εφοδιασμός τροφίμων) υπό το πρίσμα των διαταραχών της αλυσίδας εφοδιασμού (*SDG9*). Τέλος, τα lockdown επέβαλαν αλλαγές στις καθημερινές συνήθειας, όπως η τηλεργασία, με σημαντικές επιπτώσεις στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες σε συνδυασμό με τις συζητήσεις για πράσινη ανάκαμψη, διευκολύνουν τη σύνδεση με τον *SDG7*.
Οικονομική	Η χρηματοπιστωτική κρίση του 2008	SDG8, SDG1, SDG10, SDG9	Ο αντίκτυπος μιας χρηματοπιστωτικής κρίσης σε θέματα που σχετίζονται με την οικονομική ανάπτυξη (*SDG8*), τη φτώχεια (*SDG1*) και τις ανισότητες (*SDG10*) είναι επίσης εμφανής. Επιπλέον, καθώς οι επενδύσεις σε υποδομές διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην αντιμετώπιση τέτοιων κρίσεων (βλ. World Bank, 2020), πραγματοποιείται σύνδεση με το *SDG9*.
Διεθνείς συγκρούσεις	Ρωσική εισβολή στην Ουκρανία	SDG16, SDG7, SDG17, SDG8	Οποιαδήποτε κλιμακούμενη διεθνής σύγκρουση αποτελεί σημαντική απειλή για την ειρήνη (*SDG16*) και τις παγκόσμιες συνεργασίες για τους στόχους (*SDG17*). Επιπλέον, οι τρέχουσες διαταραχές στις αγορές ενέργειας και η εκτόξευση των τιμών της ενέργειας ανέδειξαν τις επιπτώσεις τέτοιων συγκρούσεων στο SDG7 και την οικονομία (*SDG8*).

Εικόνα 9.3. Η τοπολογία FCM αποτελεί τον κορμό των τεσσάρων χαρτών. Η σύνδεση κάθε SDG με το λογότυπο των «Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης» χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο για να υπονοήσει ότι όλα τα SDG είναι σε θεωρητικό επίπεδο διασυνδεδεμένα (η ακριβής διασύνδεση καθορίζεται από τις δύο ομάδες συμμετεχόντων).

Για κάθε χάρτη, διαμορφώνονται τρία σενάρια. Το πρώτο σενάριο αποτελεί το σενάριο βάσης «καμία κρίση», όπου οι τρεις «κόμβοι κρίσης» δεν ενεργοποιούνται, και το οποίο αποτελεί τη συγκριτική βάση για το υπόλοιπο της ανάλυσης. Αξιοποιώντας την ιδιότητα της σιγμοειδούς συνάρτησης να παρέχει μια μη μηδενική λύση του χάρτη ακόμη και χωρίς καμία είσοδο, η οποία ερμηνεύεται ως η κατάσταση ισορροπίας κάτω από μηδενική διαταραχή, και ουσιαστικά να προσφέρει μια αίσθηση σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις όπως προκύπτουν καθαρά από τα βάρη, αυτό το βασικό σενάριο προορίζεται επίσης να αντικατοπτρίζει τη σημασία κάθε αλληλεπίδρασης SDG απουσία οποιασδήποτε κρίσης με βάση τις αντιλήψεις τόσο των ειδικών

όσο και των επιστημόνων μοντελοποίησης, και τον τρόπο με τον οποίο αυτές περιορίζονται από την υφιστάμενη (ή προβλεπόμενη) ικανότητα μοντελοποίησης.

Το δεύτερο σενάριο αποτελεί την αξιολόγηση των επιπτώσεων κάθε κρίσης σε κάθε SDG, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη τυχόν αβεβαιότητα. Ως πρώτο βήμα, κάθε μία από τις τρεις κρίσεις ενεργοποιείται ανεξάρτητα. Χρησιμοποιούμε εμπειρικά μια τιμή ενεργοποίησης 0.75, που αντιπροσωπεύει ένα σενάριο της λογικής «σταθερό επίπεδο κρίσης», για να επιτρέψουμε αρκετό περιθώριο για τις διακυμάνσεις στην ανάλυση αβεβαιότητας της Monte Carlo μεταγενέστερα (τρίτο σενάριο). Ως τέταρτη παραλλαγή αυτού του σεναρίου, οι τρεις κόμβοι εισόδου ενεργοποιούνται ταυτόχρονα (με το ίδιο επίπεδο ενεργοποίησης 0.75), για να προσομοιώσουν τον αντίκτυπο ενός συνδυασμού κρίσεων, κάτι που μοιάζει με τις σημερινές συνθήκες. Τα δύο πρώτα σενάρια («καμία κρίση» και «σταθερό επίπεδο κρίσης») προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας την βασική FCM μεθοδολογία.

Στο τρίτο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα», το πλαίσιο MCFCM χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ρόλου της αβεβαιότητας στον αντίκτυπο των κρίσεων. Αυτό γίνεται σε τρία βήματα:

- Πρώτον, τα επίπεδα ενεργοποίησης των κόμβων κρίσης θεωρούνται πιθανοτικής φύσης, με μέση τιμή 0.75 (όπως στο δεύτερο σενάριο χωρίς αβεβαιότητα) και τυπική απόκλιση 0.2, ακολουθώντας την κατανομή Beta (η μετατροπή των τιμών αυτών στις παραμέτρους a, b της beta είναι εμφανής από τις εξισώσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης) και κάνοντας 1,000 επαναλήψεις Monte Carlo. Η εμπειρική επιλογή αυτών των τιμών βασίζεται στο εύρος της σιγμοειδούς συνάρτησης [0,1], όπου η τιμή 0.5 ερμηνεύεται ως μέτρια κρίση. Αυτή η παραμετροποίηση επιτρέπει την προσομοίωση ενός ευρέος φάσματος επιπέδων κρίσης, συμπεριλαμβανομένων κλυδωνισμών υψηλότερου και χαμηλότερου μεγέθους, που αποσκοπούν στην αποτύπωση της αβεβαιότητας του σύγχρονου περιβάλλοντος (αβεβαιότητα του περιβάλλοντος), με το μεγαλύτερο μέρος του δείγματος ωστόσο να κυμαίνεται μεταξύ τιμών στο διάστημα [0.5, 1] ώστε να αντικατοπτρίζει συνθήκες που είναι κοντά στις σημερινές. Για τους παραπάνω λόγους, όλοι οι κόμβοι κρίσης ενεργοποιούνται ταυτόχρονα, με τη διαδικασία Monte Carlo να καθορίζει το ακριβές επίπεδο.
- Δεύτερον, η προσομοίωση Monte Carlo εφαρμόζεται στα βάρη, διατηρώντας τις αρχικές τιμές του πίνακα βάρους ως μέσο όρο, και πάλι χρησιμοποιώντας μια τυπική απόκλιση

0.2, ακολουθώντας μια κατανομή Βετα (και πάλι, χρησιμοποιώντας 1,000 επαναλήψεις). Σε αυτή την περίπτωση, οι τιμές εισόδου διατηρούνται σταθερές όπως στο δεύτερο σενάριο, ενώ για άλλη μια φορά όλοι οι κόμβοι εισόδου ενεργοποιούνται ταυτόχρονα. Αυτό το βήμα επιτρέπει την προσομοίωση του αντίκτυπου της αβεβαιότητας που εισάγεται από την ανθρώπινη υποκειμενικότητα (ανθρωπογενής αβεβαιότητα) όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται το σύστημα.

- Τρίτον, τόσο η είσοδος όσο και τα βάρη θεωρείται ότι διαθέτουν αβεβαιότητα ταυτόχρονα, και έτσι οι επαναλήψεις της Monte Carlo υπολογίζουν την πλήρη επίδραση και το πλήρες εύρος της διάδοσης της αβεβαιότητας σε όλο το FCM. Σε αυτή την περίπτωση, οι επαναλήψεις της Monte Carlo αυξάνονται σε 10.000, αναγνωρίζοντας την υψηλότερη πολυπλοκότητα.

Η μεθοδολογία MCFCM στην περίπτωση της αβεβαιότητας των βαρών ανάμεσα στους κόμβους αποδίδει διαφορετική παράμετρο $\hat{\lambda}$ σε σύγκριση με τις δοκιμές μη αβεβαιότητας που βασίζονται στη διαδικασία επιλογής των Koutsellis et al. (2022). Για να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των σεναρίων, η παράμετρος $\hat{\lambda}$ επιλέγεται με βάση την τρίτη εκδοχή του τρίτου σεναρίου ($\hat{\lambda}_{MC}$) η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε όλα τα σενάρια.

9.3 Αποτελέσματα

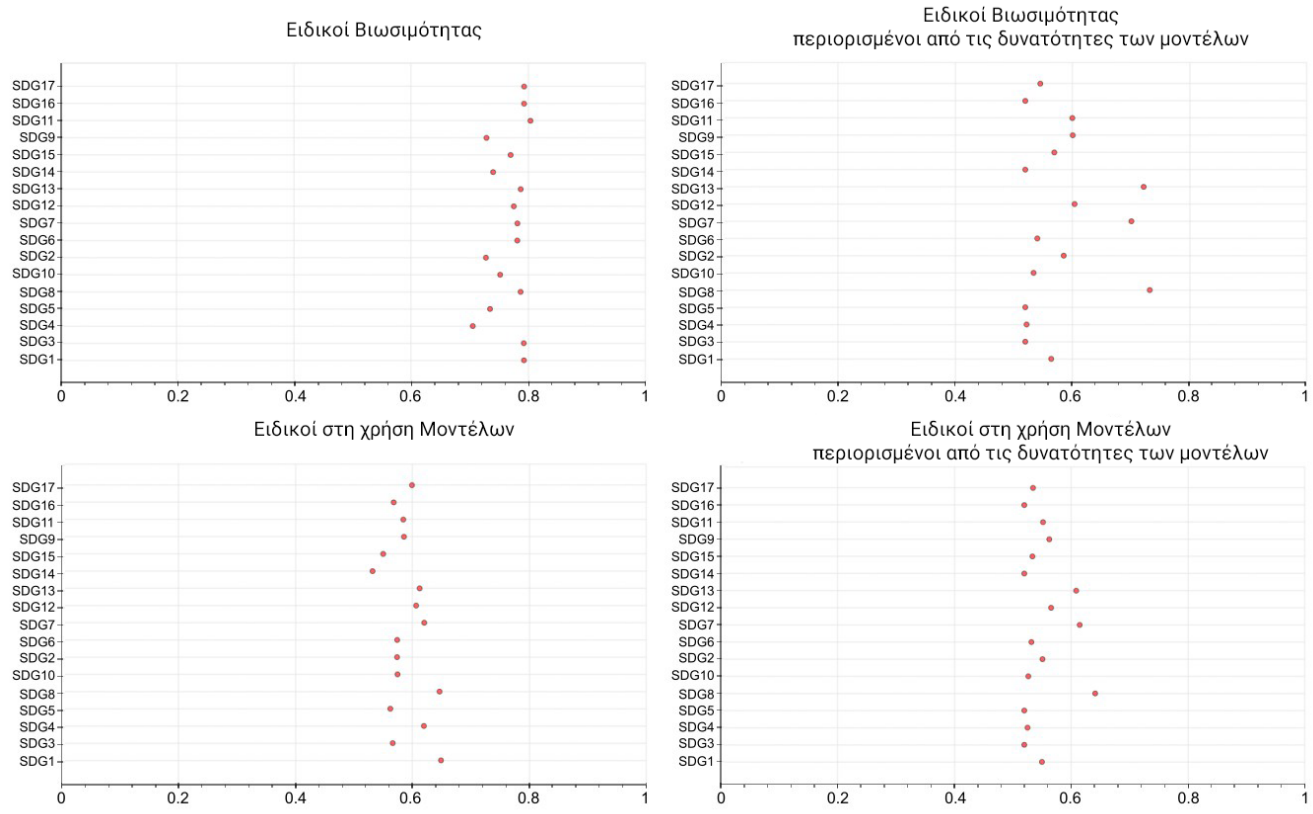
9.3.1 Σενάριο βάσης χωρίς την επίδραση κρίσεων

Δεδομένου ότι η ερμηνεία ενός αποτελέσματος προερχόμενο από ανάλυση FCM πραγματοποιείται ημι-ποσοτικά, δηλαδή είτε σε σύγκριση με μια προηγούμενη κατάσταση, είτε μεταξύ των τιμών ανάμεσα στους κόμβους, για να καθοριστεί ένα σημείο βάσης ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση των επιπτώσεων της διάδοσης των κρίσεων, οι τέσσερις χάρτες αρχικά προσομοιώνονται χωρίς να ενεργοποιούνται οι τρεις κόμβοι εισόδου που αντιστοιχούν στις κρίσεις (Εικόνα 9.4). Αυτή η κατάσταση αντιπροσωπεύει έτσι το βασικό σενάριο βάσης «καμία κρίση», δηλαδή η κατάσταση ισορροπίας του συστήματος χωρίς διαταραχές. Ελλείψει αρχικής εισόδου, το διάνυσμα τελικής κατάστασης σε αυτό το βασικό σενάριο αντικατοπτρίζει τη σημασία των σχέσεων αιτιότητας κάθε κόμβου με βάση τις απόψεις των ειδικών βιωσιμότητας (ΕΒ) και των ειδικών μοντέλων (ΕΜ) και κατά πόσον αυτές οι σχέσεις περιορίζονται από τις δυνατότητες μοντελοποίησης. Έτσι, οι κόμβοι με υψηλές τιμές υποδεικνύουν SDGs που, με βάση τα δεδομένα που παρείχαν οι δύο ομάδες και που αποτέλεσαν τα βάρη, επηρεάζονται έντονα από και εν γένει δημιουργούν μεγάλο αριθμό σχέσεων με άλλους SDGs και αντίστροφα.

Οι ΕΒ φαίνεται να θεωρούν ότι ανάμεσα στα SDGs υφίστανται πολύ περισσότερες διασυνδέσεις από ό,τι οι ΕΜ, γεγονός που είναι άμεσο αποτέλεσμα του υψηλότερου αριθμού αλληλεπιδράσεων και των αντίστοιχων βαρών των διασυνδέσεων κόμβων. Στον χάρτη των ΕΒ, το SDG11 για τη βιωσιμότητα σε επίπεδο πόλης και κοινότητας αναδεικνύεται ως ο κόμβος με το υψηλότερο επίπεδο σημασίας όσον αφορά τις αλληλεπιδράσεις με τους άλλους SDG, υποδεικνύοντας ισχυρή επίδραση άλλων SDG στο δομημένο περιβάλλον. Τα SDG 17 και 16, σχετικά με την παγκόσμια συνεργασία, καθώς και την ειρήνη και τους ισχυρούς θεσμούς, ακολουθούν στενά το SDG11. Μάλιστα, αυτά τα δύο SDG είναι συνήθως δύσκολο να αναπαρασταθούν στη μοντελοποίηση μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Soergel et al., 2021b). Ωστόσο, πολλά άλλα SDG παρουσιάζουν επίσης υψηλά επίπεδα σημασίας, υποδεικνύοντας ότι οι ειδικοί αντιλαμβάνονται τα περισσότερα SDG ως καλά διασυνδεδεμένα σε ολόκληρο το τοπίο των SDG. Αυτό μάλιστα επιβεβαιώνει την αντίστοιχη αίσθηση που δημιουργήθηκε στην αντίστοιχη μελέτη του Κεφαλαίου 7, όπου και εκεί οι συμμετέχοντες έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον για σχεδόν το σύνολο του φάσματος SDG. Αντίθετα, ο χάρτης των ΕΜ περιλαμβάνει σχετικά χαμηλότερες αξιολογήσεις, υποδεικνύοντας την εξάλειψη της φτώχειας (SDG1) ως τον στόχο που επηρεάζεται περισσότερο από άλλα SDGs, με τους οικονομικούς δείκτες φτώχειας να εκπροσωπούνται καλά στα IAMs (van Vuuren et al., 2022) και να έχουν διερευνηθεί στη βιβλιογραφία των IAM (π.χ., Fujimori et al., 2020; Soergel et al., 2021a). Ακολουθούν η οικονομική ανάπτυξη (SDG8) και η βιωσιμότητα του ενεργειακού τομέα (SDG7), τα οποία περιλαμβάνουν πτυχές που είναι οικείες στην οικονομική προσέγγιση που υιοθετείται από τα περισσότερα μοντέλα (Ackerman et al., 2009; Nikas et al., 2019a) και οι οποίες, ως εκ τούτου, είναι πολύ πιο κοντά στα SDGs που συνήθως μελετώνται με χρήση IAMs. Όπως είχαμε τονίσει ωστόσο στο Κεφάλαιο 7 ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις η εκπροσώπηση συνήθως γίνεται μέσω ενός περιορισμένου αριθμού δεικτών (proxies), και δεν συνιστά μια πλήρη αναπαράσταση.

Η εισαγωγή ορίων και περιορισμών με βάση τις δυνατότητες μοντελοποίησης επηρεάζει τα αποτελέσματα FCM για τους ΕΒ και τοποθετεί τις βαθμολογίες των SDG σε χαμηλότερες κλίμακες. Το αποτέλεσμα που δημιουργείται είναι να ευθυγραμμίζονται καλύτερα οι προσδοκίες των ΕΒ με τις προτεραιότητες των ΕΜ, αποδίδοντας τις υψηλότερες βαθμολογίες για εκείνους τους SDG που συνήθως διερευνούν τα μοντέλα (π.χ. SDG 8, 13, 7). Αυτό δείχνει ότι οι απόψεις και, συνεπώς, οι προσδοκίες των ΕΒ περιορίζονται σημαντικά από τις δυνατότητες μοντελοποίησης. Από την άλλη, οι προτεραιότητες των ΕΜ δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό

από περιορισμούς της ικανότητας μοντελοποίησης, υποδεικνύοντας ότι οι αξιολογήσεις τους μπορεί να ενσωματώνουν προκαταλήψεις, δηλαδή να είναι εν μέρει καθοδηγούμενες από τα προβλήματα που τα μοντέλα τους μπορούν πραγματικά να μελετήσουν, και να τονίζουν αυτά ως πιο σημαντικά. Ωστόσο, ακόμη και στην περίπτωση της περιορισμένης ικανότητας μοντελοποίησης, εμφανίζονται ορισμένες αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των ΕΒ και των ΕΜ (δηλ. στην κατάταξη), υπογραμμίζοντας περαιτέρω τη σημασία της αξιοποίησης των γνώσεων από ειδικούς για την καθοδήγηση των μελετών μοντελοποίησης.



Εικόνα 9.4. Σημασία κάθε SDG με βάση της σχέσεις αιτιότητας στο σενάριο βάσης «καμία κρίση».

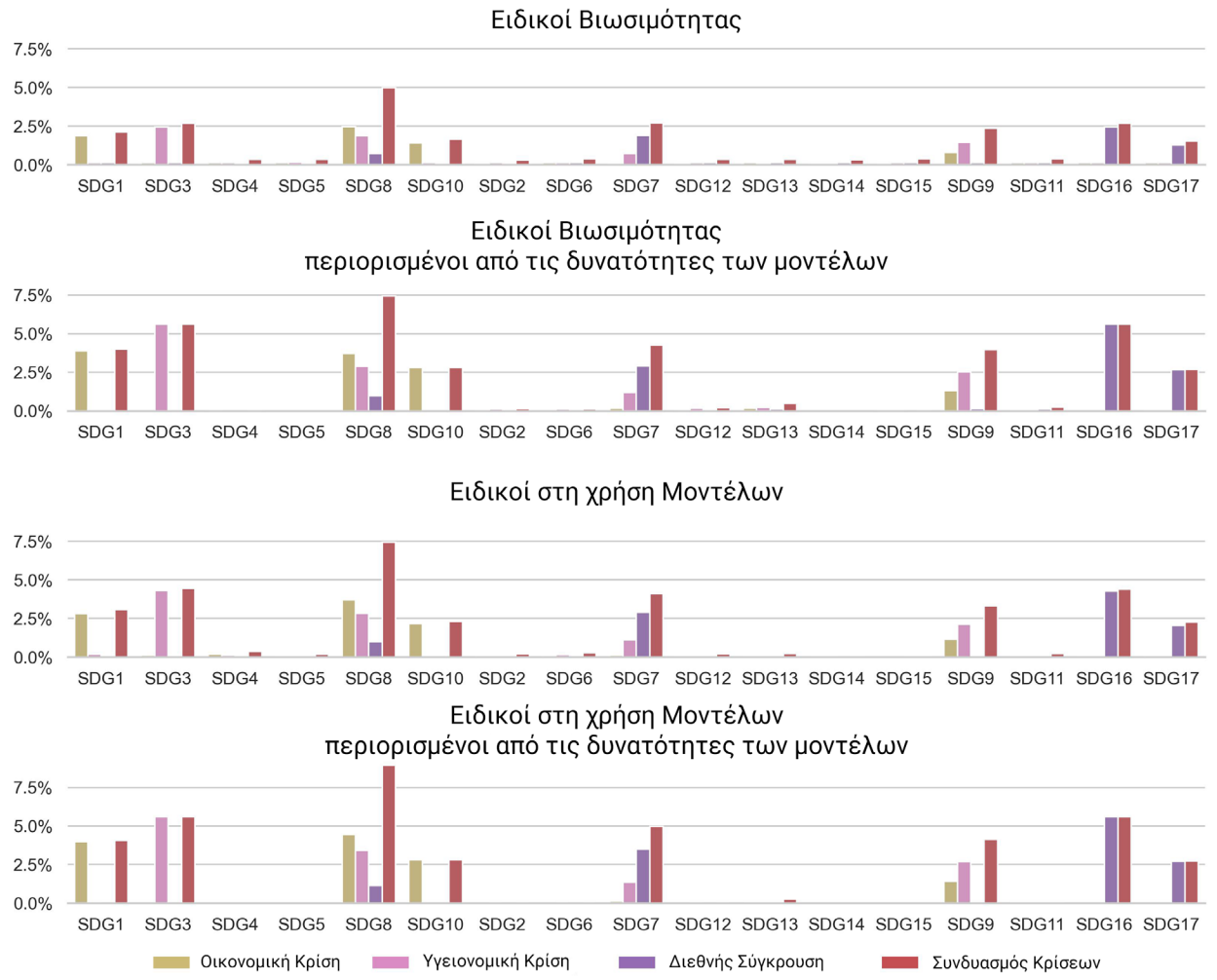
9.3.2 Διάδοση κρίσεων χωρίς αβεβαιότητα

Στο δεύτερο σενάριο όπου οι κρίσεις αρχίζουν να συνεισφέρουν, οι τρεις κόμβοι κρίσης ενεργοποιούνται ανεξάρτητα σε κάθε χάρτη, χρησιμοποιώντας μια σταθερή τιμή 0.75 (αρκετά μεγάλη τιμή για την εκτίμηση των επιπτώσεων, αλλά όχι πολύ υψηλή ώστε να επιτρέπει αργότερα την αξιολόγηση διαταραχών αβεβαιότητας). Μια τελική εκτέλεση πραγματοποιείται ενεργοποιώντας και τους τρεις κόμβους κρίσης ταυτόχρονα για να προσομοιαστεί επίσης ο

αντίκτυπος ενός συνδυασμού κρίσεων παρόμοιων με το σημερινό περιβάλλον (Εικόνες 9.5 και 9.6).

Και στους τέσσερις χάρτες, το SDG8 για τη βιωσιμότητα της οικονομικής ανάπτυξης επηρεάζεται σταθερά από τις κρίσεις που ενεργοποιούνται ανεξάρτητα. Παρόλο που τα SDG που συνδέονται άμεσα με έναν κόμβο κρίσης λαμβάνουν αναμενόμενα τον υψηλότερο αντίκτυπο (π.χ. η υγειονομική κρίση επηρεάζει κυρίως το SDG3, βλέπε Εικόνα 9.5), υπάρχουν έμμεσες επιπτώσεις αυτών των κρίσεων σε όλα σχεδόν τα SDG τόσο στους χάρτες των ΕΒ όσο και στους χάρτες των ΕΜ, οι οποίες επιδράσεις, ωστόσο, φαίνεται να μετριάζονται σε μεγάλο βαθμό όταν εξετάζονται οι δυνατότητες μοντελοποίησης, ιδίως στον χάρτη των ΕΜ. Αυτές οι έμμεσες επιδράσεις μπορεί να προσφέρουν εξειδικευμένες ευκαιρίες για ανάπτυξη μοντέλων και να βοηθήσουν στην επέκταση των δυνατοτήτων ανάλυσης για την καλύτερη κατανόηση του αντίκτυπου των κρίσεων σε διαστάσεις που φαινομενικά μπορεί να φαίνονται άσχετες αλλά ουσιαστικά συνδεδεμένες μέσω έμμεσων σχέσεων.

Κάποιες συγκριτικά μικρές επιδράσεις (αναλογικά τουλάχιστον με τις υπόλοιπες τιμές) μπορεί επίσης να υπονοούν μια δυσκολία των FCM που κατασκευάζονται με βάση μια βέλτιστη επιλογή της παραμέτρου $\hat{\lambda}_{MC}$ να συλλάβουν στο ίδιο επίπεδο τον αντίκτυπο των διαταραχών στους έμμεσα επηρεαζόμενους κόμβους, υποβαθμίζοντας τη σημασία τους, ως αποτέλεσμα δυνητικά μικρών τιμών λ που επιλέγονται.

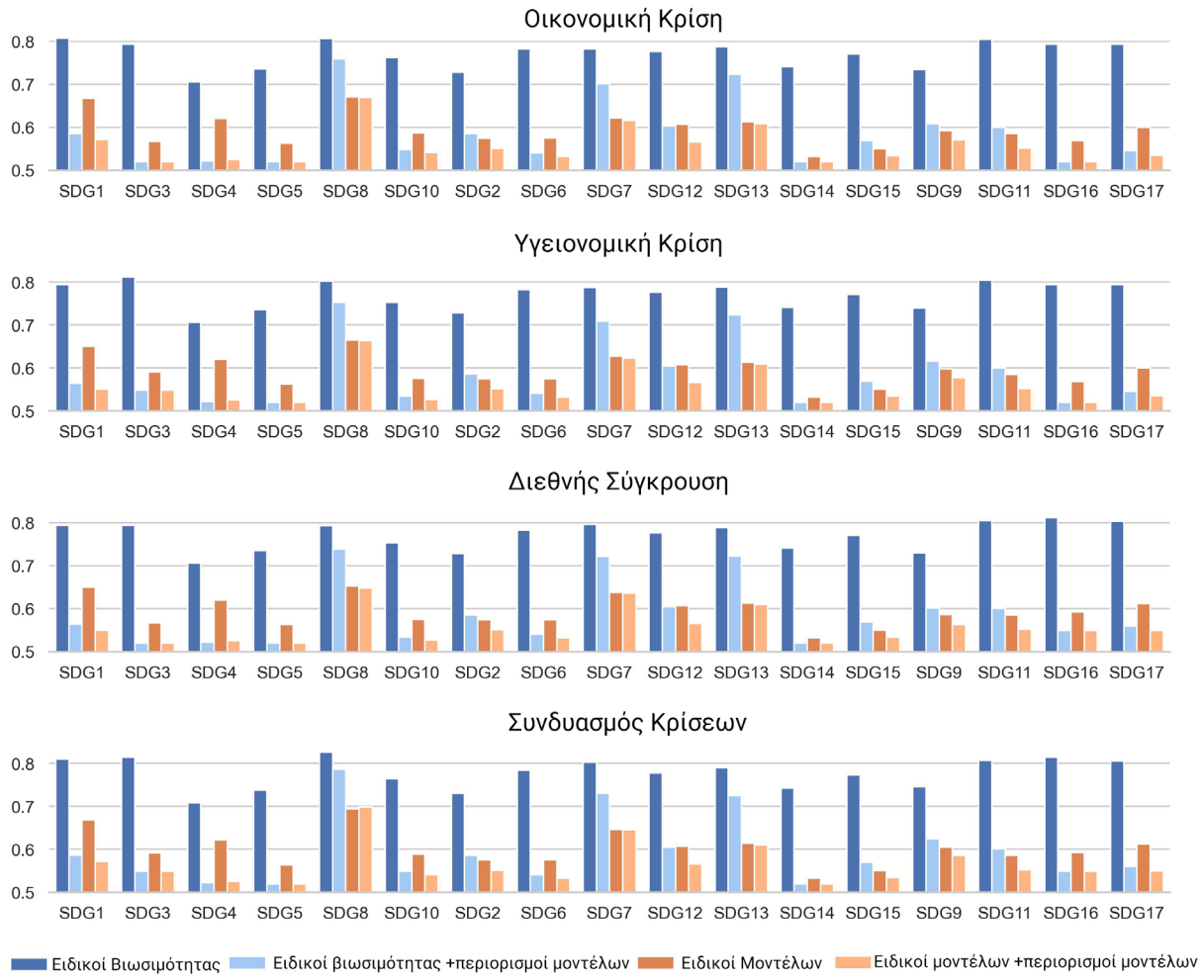


Εικόνα 9.5. Ο αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης» ως διαφορά σε σύγκριση με το σενάριο βάσης (%) σε κάθε χάρτη.

Ελλείψει περιορισμών από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, ο χάρτης των ΕΒ δείχνει ότι όλα τα SDG επηρεάζονται με σχετικά παρόμοιο τρόπο και μικροαποκλίσεις στο πλαίσιο των τριών κρίσεων (Εικόνα 9.6). Από τους τέσσερις χάρτες, τα αποτελέσματα από τις αντιλήψεις των ΕΜ που περιορίζονται από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, οδηγούν στον ασθενέστερο αντίκτυπο σε όλα σχεδόν τα SDG εμφανίζοντας παρόμοιες τάσεις (όχι κατ' ανάγκη καμία επίδραση) όπως με το βασικό σενάριο «καμία κρίση». Η μόνη εξαίρεση σε αυτό είναι το SDG4 (εκπαίδευση), όπου οι ΕΒ υποτιμούσαν τον αντίκτυπο του σταθερά σε σύγκριση με τους ΕΜ, εκφράζοντας ότι αυτός ο στόχος επηρεάζεται λιγότερο σε συνδυασμό με αυτές τις κρίσεις. Σε γενικές γραμμές, αυτοί οι δύο χάρτες (ΕΒ που δεν περιορίζονται από περιορισμούς μοντέλων

και ΕΜ που εξετάζουν την πραγματική ικανότητα μοντελοποίησης) αποτελούν τις δύο αντίθετες πλευρές.

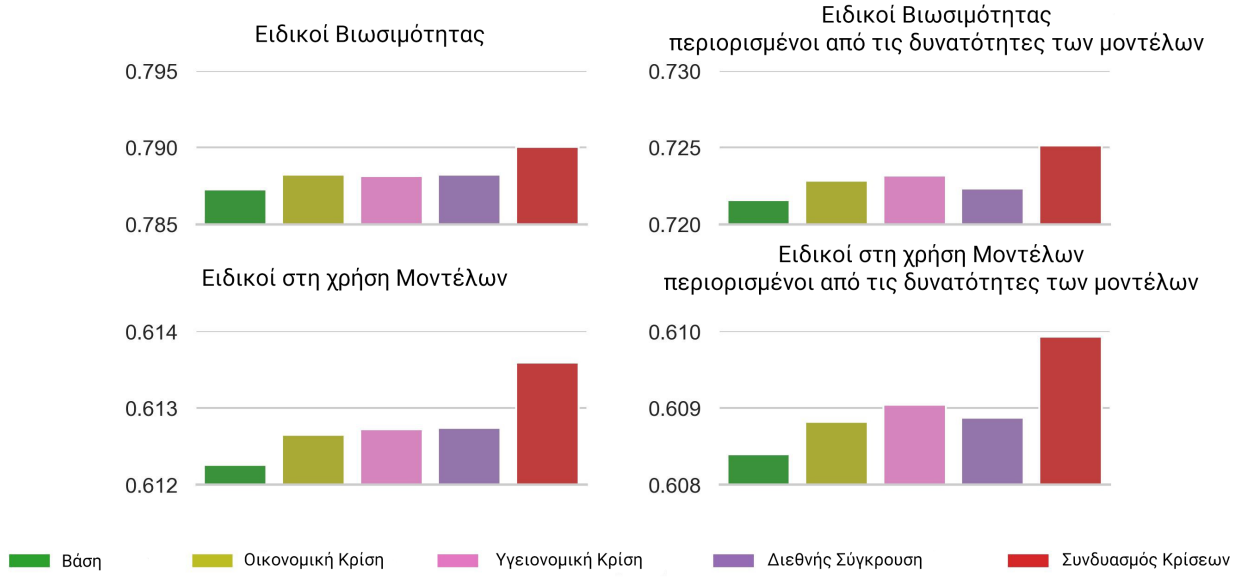
Η ιεράρχηση προτεραιοτήτων που προκύπτει από τους δύο ενδιάμεσους χάρτες (ΕΒ που λαμβάνουν υπόψη τις δυνατότητες μοντελοποίησης και ΕΜ που τις αγνοούν) παρουσιάζει ιδιαίτερη δυναμική, με κάθε ομάδα να αποτυπώνει διαφορετικά πρότυπα (Εικόνα 9.6). Εμβαθύνοντας σε αυτούς τους δύο χάρτες, βλέπουμε τους ΕΒ (με τα όρια) να δίνουν προτεραιότητα όχι μόνο στους SDG 8, 7 και 13, αλλά και στα τρόφιμα (SDG2), την καινοτομία (SDG9), τις πόλεις και κοινότητες (SDG11) και τις πτυχές που σχετίζονται με τη ζωή στη γη (SDG15). Αντιστρόφως, στον χάρτη από τους ΕΜ χωρίς όρια, υπάρχουν ισχυρότερες επιπτώσεις (συγκριτικά με τους ΕΒ) σε όλους τους εναπομείναντες στόχους. Στην περίπτωση των στόχων που αφορούν τη βιωσιμότητα που σχετίζεται με το νερό (SDG 6 και 14), και πάλι η επίδραση με βάση τους ΕΜ (χωρίς όρια) είναι μεγαλύτερη από τους ΕΒ (με όρια) αλλά σε πιο μικρό βαθμό. Αυτό υποδηλώνει ότι ακόμα και στην περίπτωση των ΕΜ που αυτό-περιορίζονται με βάση το τι μπορούν να κάνουν τα μοντέλα τους, εντοπίζονται αθροιστικές επιπτώσεις από τις κρίσεις σε ένα ευρύ φάσμα SDG, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει σημαντικό περιθώριο και ανάγκη για μελλοντικές βελτιώσεις μοντελοποίησης. Στην ουσία, αυτοί οι δύο χάρτες υπογραμμίζουν τις πραγματικές διαφορές απόψεων μεταξύ των δύο ομάδων, δεδομένου ότι οι προσδοκίες των ΕΒ ευθυγραμμίζονται με το τι μπορούν ρεαλιστικά να προσφέρουν τα μοντέλα και οι απόψεις των ΕΜ χωρίς περιορισμούς αντικατοπτρίζουν τις ικανότητες που πρέπει να επιδιώξει να αναπτύξει η κοινότητα μοντελοποίησης.



Εικόνα 9.6. Ο αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης» ως απόλυτες βαθμολογίες ανά κρίση σε κάθε χάρτη.

Εστιάζοντας στα αποτελέσματα του SDG13 (δράση για το κλίμα), πρωταρχικού ενδιαφέροντος των IAM, παρατηρούμε ότι και στους τέσσερις χάρτες η σημασία αυτού του στόχου αυξάνεται σε περιόδους κρίσεων, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές βάσης (Εικόνα 9.7). Ομοίως, σε όλους τους χάρτες, ένας συνδυασμός κρίσεων οδηγεί αναμενόμενα σε συσσωρευμένες επιπτώσεις, πράγμα που σημαίνει ότι η σημασία της δράσης για το κλίμα αυξάνεται καθώς εμφανίζονται ποικίλες ταυτόχρονες προκλήσεις. Ελλείψει περιορισμών στην ικανότητα μοντελοποίησης, τόσο οι ΕΒ όσο και οι ΕΜ πιστεύουν ότι οι διάφορες κρίσεις έχουν σχεδόν παρόμοιο αντίκτυπο στο SDG13. Κατά την εισαγωγή ικανοτήτων μοντελοποίησης, ο αντίκτυπος μιας υγειονομικής κρίσης στο SDG13 φαίνεται να υπερτερεί των άλλων κρίσεων, αντανακλώντας πιθανώς την υπάρχουσα ικανότητα μοντελοποίησης, καθώς και σημαντικές

εργασίες μοντελοποίησης που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής δράσης στην υγεία (π.χ., Vandyck et al., 2018; McCollum et al., 2018; Reis et al., 2022). Αντίθετα, ο αντίκτυπος των διεθνών συγκρούσεων στη δράση για το κλίμα μειώνεται (κυρίως από την οπτική γωνία των ΕΒ), αντανακλώντας την περιορισμένη ικανότητα πολλών IAM να λάβουν ενδογενώς υπόψη τις γεωπολιτικές εντάσεις (π.χ., Soergel et al., 2021b) και να αντιπροσωπεύσουν ρεαλιστικά διαταραχές στο διεθνές εμπόριο (εκτός ίσως από κάποια φαινόμενα που μπορούν να αναπαραστήσουν μοντέλα γενικής ισορροπίας, τα οποία ωστόσο συνοδεύονται από άλλους περιορισμούς—πχ., χαμηλότερη αναπαράσταση τεχνολογιών μετριασμού). Αν και τα αποτελέσματα και οι αντίστοιχες διαφορές είναι μικρές για να οδηγήσουν σε οριστικά αποτελέσματα (κυρίως λόγω των μικρών τιμών $\hat{\lambda}_{MC}$), οι τάσεις αυτές παρέχουν μια εκτίμηση των τάσεων που εισάγουν οι διαταραχές των κρίσεων στους χάρτες.



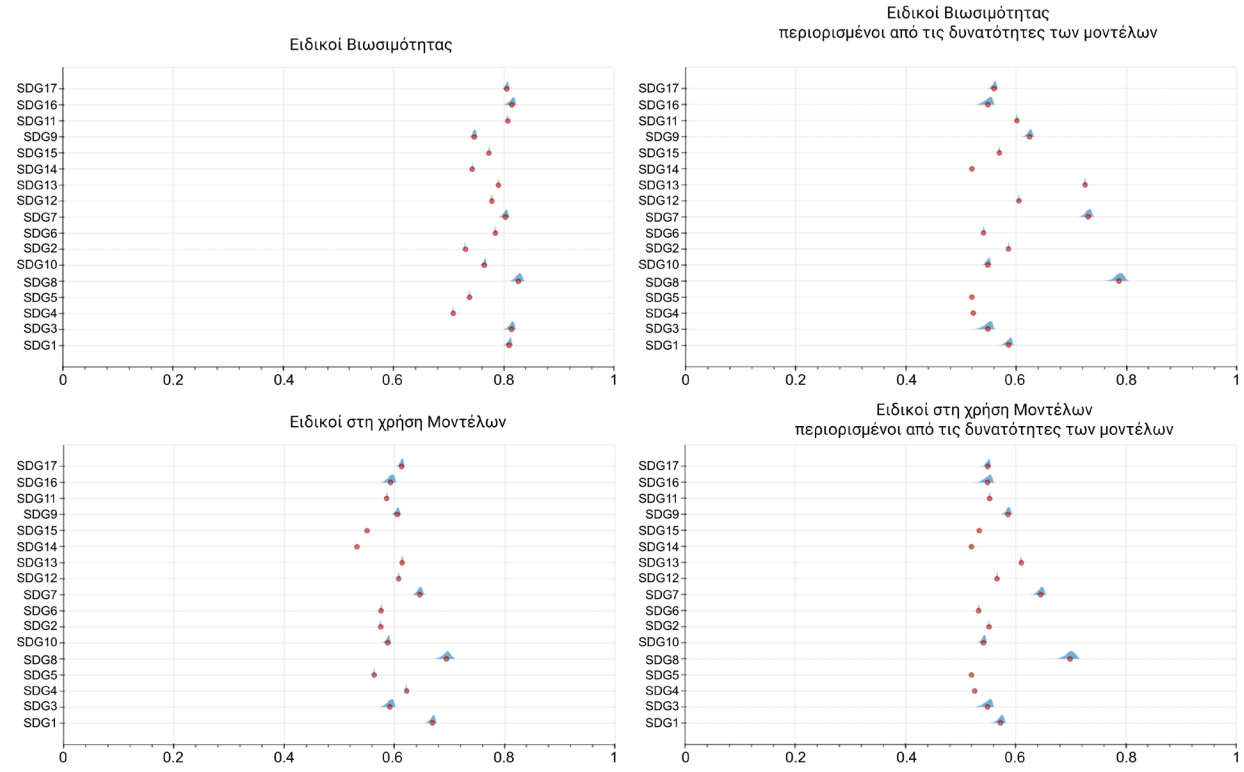
Εικόνα 9.7. Αντίκτυπος των κρίσεων στο SDG13 στο σενάριο «σταθερό επίπεδο κρίσης».

9.3.3 Διάδοση κρίσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας

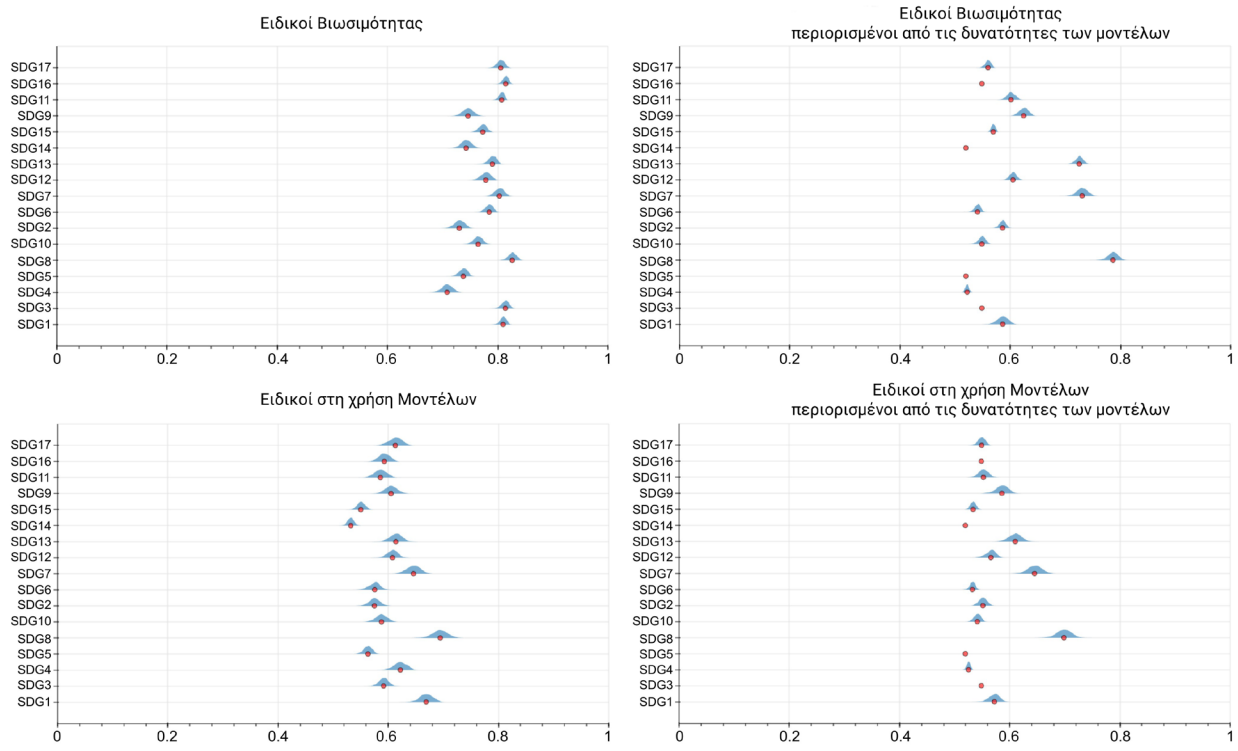
Στο τρίτο σενάριο και για την προσομοίωση της επίδρασης της αβεβαιότητας, εκτελούνται τρία σενάρια (Εικόνα 9.8, 9.9 και 9.10). Η πρώτη εκτέλεση ενσωματώνει διακυμάνσεις στο επίπεδο ενεργοποίησης των τριών κόμβων κρίσης, με στόχο να αντιπροσωπεύει συνδυασμούς διαφορετικών επιπέδων έκτακτης ανάγκης, που μοιάζουν περισσότερο με πραγματικές συνθήκες και όχι με σταθερές υποθέσεις (Εικόνα 9.8). Η δεύτερη εκτέλεση εισάγει διακυμάνσεις στα βάρη των συνδέσμων μεταξύ των κόμβων, με στόχο να αναπαραστήσει τις

υποκείμενες αβεβαιότητες στις σχέσεις αιτιότητας, και άρα έμμεσα τις προκαταλήψεις μεταξύ των εμπειρογνωμόνων και των μοντελιστών που παρέχουν αυτά τα βάρη (στο van Soest et al., 2019) (Εικόνα 9.9). Αυτά τα δύο σενάρια συμπληρώνονται από ένα τρίτο, όπου η αβεβαιότητα στο επίπεδο κρίσεων (είσοδος) και η αβεβαιότητα σε επίπεδο διασυνδέσεων (βάρη) που στις προηγούμενες περιπτώσεις αναλύθηκαν ανεξάρτητα, συνοδεύεται από ένα τρίτο σενάριο που εισάγει αβεβαιότητα και στις δύο διαστάσεις ταυτόχρονα, με στόχο να συλλάβει ένα ευρύτερο φάσμα αβεβαιότητας (Εικόνα 9.10).

Αρχικά, παρατηρούμε ότι η αβεβαιότητα στα βάρη των διασυνδέσεων των FCM οδηγεί σε υψηλότερες διακυμάνσεις στις τιμές εξόδου (Εικόνα 9.9) σε σύγκριση με την αβεβαιότητα στο σήμα διαταραχής στους κόμβους εισόδου του FCM (Εικόνα 9.8), με την επίδραση της αβεβαιότητας των βαρών να εμφανίζεται σε όλους τους κόμβους, ενώ αυτή της εισόδου μόνο στους κόμβους που συνδέονται άμεσα με έναν κόμβο εισόδου. Αυτό είναι ένα σημαντικό εύρημα για τη μεθοδολογία των FCM, καθώς φαίνεται ότι τα βάρη και εν γένει η δομή του χάρτη έχουν μεγαλύτερη επιρροή από τις τιμές των κόμβων εισόδου (η μικρή διάχυση της αβεβαιότητας από τις εισόδους θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της μικρής τιμής της παραμέτρου $\hat{\lambda}_{MC}$, ωστόσο οποιαδήποτε αλλαγή στην παράμετρο $\hat{\lambda}_{MC}$ επηρεάζει την επίδραση και των δύο τύπων αβεβαιότητας κάτι που δημιουργεί μια βεβαιότητα στο εξαγόμενο συμπέρασμα). Αλλά αυτό το εύρημα είναι επίσης σημαντικό από μια ευρύτερη προοπτική μοντελοποίησης: εκτός από τον τρόπο μοντελοποίησης μιας κρίσης (π.χ. υποθέσεις εισόδου, πρωτόκολλο σεναρίου κ.λπ.), η καλύτερη κατανόηση των συστημικών αλληλεπιδράσεων και των υποκείμενων αβεβαιοτήτων μπορεί να είναι το κλειδί για την ολιστική αξιολόγηση του πραγματικού αντίκτυπου των διαταραχών, ανατρεπτικών γεγονότων και άλλων κρίσεων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στον τομέα των SDG, ο οποίος ακόμα δεν εκπροσωπείται ενδελεχώς στα IAM.



Εικόνα 9.8. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα», λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αβεβαιότητα στο επίπεδο κρίσης (είσοδος).

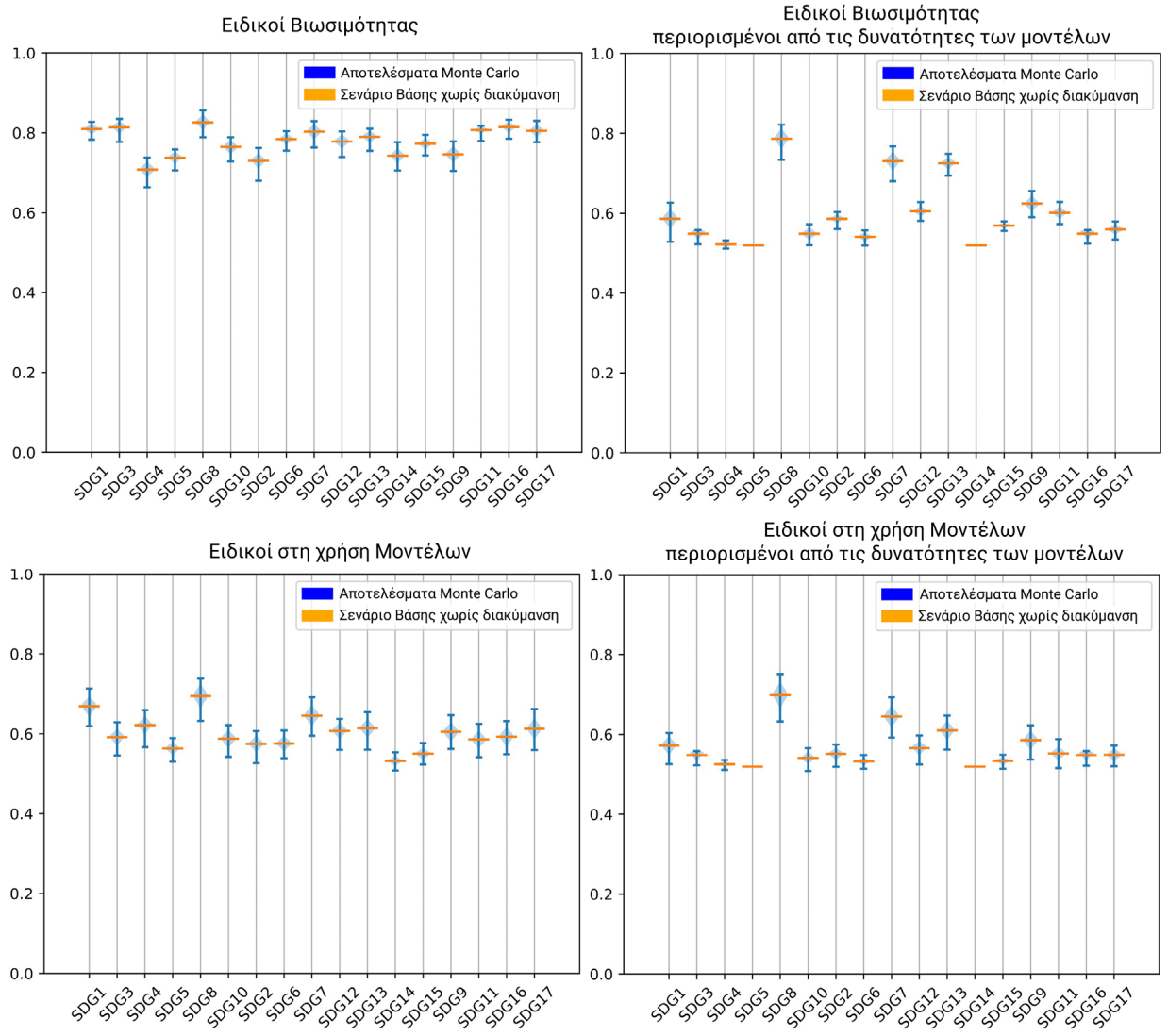


Εικόνα 9.9. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα» λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αβεβαιότητα της στάθμισης των διασυνδέσεων (βάρη).

Κατά την εισαγωγή και των δύο τύπων αβεβαιότητας (εισόδου και βαρών) στους χάρτες, τα αποτελέσματα στην κατάταξη είναι αναμενόμενα λιγότερο διακριτά και η τελική σειρά των SDG είναι δυσκολότερο να εξαχθεί, σε σύγκριση με την περίπτωση χωρίς αβεβαιότητα, ιδίως όταν δεν λαμβάνονται υπόψη οι ικανότητες μοντελοποίησης (όπου εδώ είχαμε ήδη εντοπίσει από το σενάριο βάσης στους ΕΒ ότι σχεδόν όλα τα SDG ήταν σημαντικά και κοντά στη βαθμολογία). Χωρίς τους περιορισμούς που επιβάλλονται λόγω των δυνατοτήτων των IAM, σχεδόν όλοι οι κόμβοι καταλήγουν να είναι διασυνδεδεμένοι, αντανακλώντας την πραγματικά αλληλένδετη φύση των SDG, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την αβεβαιότητα. Αντίθετα, όταν εξετάζονται οι δυνατότητες μοντελοποίησης, οι προτεραιότητες είναι σαφέστερες, καταδεικνύοντας υψηλότερο αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη (SDG8), την καθαρή και οικονομικά προσιτή ενέργεια (SDG7) και τη δράση για το κλίμα (SDG13) ως αποτέλεσμα του συνδυασμού κρίσεων. Αυτό έρχεται σε αντίθεση, για παράδειγμα, με τις προ COVID προτεραιότητες μιας άλλης ομάδας ενδιαφερόμενων μερών και σε διαφορετικές συνθήκες (Κεφάλαιο 7) όπου προτεραιοποιήθηκαν ευρύτερα πλανητικά ζητήματα βιωσιμότητας όπως η διατήρηση του

περιβάλλοντος (Koasidis et al., 2022a). Προφανώς, τα ενδιαφερόμενα μέρη πιστεύουν ότι οι τρέχουσες προκλήσεις, όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα των άμεσων διαθέσιμων ικανοτήτων που προσφέρουν τα IAM, επηρεάζουν κυρίως την ανθρώπινη ανάπτυξη, όπως φαίνεται από την έμφαση στα SDG8 και SDG7, υπονομεύοντας τις ευρύτερες περιβαλλοντικές ανησυχίες. Αυτό συνάδει με τους Nylund et al. (2022), οι οποίοι παρατήρησαν μια τάση των ενδιαφερόμενων μερών (ιδίως του ιδιωτικού τομέα) να δίνουν έμφαση στις χρηματοοικονομικές πτυχές παράλληλα με την ατζέντα των SDG.

Η μελέτη της αβεβαιότητας, εκτός από το να ενισχύσει τα βασικά πορίσματα καθιστώντας τα πιο εύρωστα, ρίχνει επίσης φως σε επιπτώσεις σε περισσότερα SDG που μπορεί να μην ξεχώρισαν στις προηγούμενες αναλύσεις. Συγκεκριμένα, το SDG2 (εξάλειψη της πείνας) και το SDG1 (εξάλειψη της φτώχειας) στους χάρτες των ΕΒ ήταν μεταξύ των SDG με την υψηλότερη αβεβαιότητα, που τελικά κυμαίνονταν από χαμηλότερες έως υψηλότερες βαθμίδες στην κατάταξη, παρόλο που δεν ξεχώρισαν στις αρχικές κατατάξεις χωρίς αβεβαιότητα. Παρόμοιες πληροφορίες αποκτήθηκαν στους χάρτες των ΕΜ (π.χ. για τα SDG 9 και 11). Τέτοια φαινόμενα συνηγορούν υπέρ των εκκλήσεων για συνδιαμόρφωση με εμπειρογνώμονες για την ενημέρωση και την καθοδήγηση μελετών μοντελοποίησης, ιδίως καθώς οι εξαιρετικά αβέβαιες συνθήκες μεταβάλλουν σημαντικά τις προηγουμένως καθορισμένες κοινωνικο- και τεχνοοικονομικές παραδοχές στα μοντέλα (Doukas and Nikas, 2022). Για να έρθουν τα μοντέλα πολύ πιο κοντά στις προοπτικές των ειδικών, και σε κάποιο βαθμό ακόμη και στους ίδιους τους επιστήμονες που τα χρησιμοποιούν, η αναπαράσταση των SDG στα μοντέλα πρέπει να βελτιωθεί σημαντικά για να συλλάβει καλύτερα τους συμβιβασμούς και τα παράλληλα οφέλη τους, καθώς και τις αβεβαιότητες που περιβάλλουν αυτά.



Εικόνα 9.10. Αντίκτυπος των κρίσεων σε κάθε SDG στο σενάριο «κρίση υπό αβεβαιότητα», λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα την αβεβαιότητα στα βάρη και την είσοδο.

9.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, εισάγουμε τη μελέτη της αβεβαιότητας στα FCM ενσωματώνοντάς τα με προσομοιώσεις Monte Carlo (MCFCM) για να αξιολογήσουμε τις επιπτώσεις τριών τύπων κρίσεων (οικονομική ύφεση, υγειονομική κρίση, και διεθνείς συγκρούσεις) σε ολόκληρο το φάσμα των αλληλένδετων SDG, με την ενσωμάτωση και σύγκριση γνώσεων από ειδικούς εμπειρογνώμονες στον τομέα της βιωσιμότητας και ειδικούς στη χρήση μοντέλων IAMs. Αυτό έγινε με στόχο να ρίξουμε φως στον αντίκτυπο των διαφόρων κρίσεων στη σημασία των SDG εντός του φάσματος βιωσιμότητας, να κατανοήσουμε την τρέχουσα ικανότητα μοντελοποίησης

για την αξιολόγηση της προόδου προς τη βιωσιμότητα (και πως επιδρά στις απόψεις των εμπλεκόμενων μερών), υπερβαίνοντας τα στενά όρια της δράσης για το κλίμα, και να αποκτήσουμε γνώσεις σχετικά με τις αποκλίσεις μεταξύ των απόψεων των δύο ομάδων, με την πρόθεση τα ευρήματά μας να μπορούν με τη σειρά τους να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των επόμενων σταδίων της διατριβής και της μελλοντικής ανάπτυξης των IAMs.

Μεταξύ όλων των χαρτών, τα SDG που επηρεάζονται περισσότερο από τις τρεις εξεταζόμενες κρίσεις ανεξάρτητα και σε συνδυασμό μεταξύ τους είναι τα SDG 8 και 7, ακολουθούμενα στις περισσότερες περιπτώσεις από τους κόμβους που συνδέονται άμεσα με έναν κόμβο κρίσης. Τα ισχυρά αποτελέσματα που διαπιστώθηκαν για το SDG 8 ήταν αναμενόμενα, καθώς αυτός ο κόμβος επηρεάζεται άμεσα από κάθε κρίση και είναι επίσης σε μεγάλο βαθμό διασυνδεδεμένος σε όλους τους νοητικούς χάρτες, αντανακλώντας τις ισχυρές έμμεσες επιπτώσεις που μπορεί να έχουν πολλά SDG στην οικονομία. Αυτά τα αποτελέσματα εξακολουθούν να υφίστανται ακόμη και λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές δυνατότητες μοντελοποίησης, καθώς τα τρέχοντα μοντέλα IAM παραδοσιακά εξ ορισμού εστιάζουν έντονα στην οικονομία (Stoddard et al., 2021). Ωστόσο αυτό το αποτέλεσμα, παρουσιάζει μια έντονη και ενδιαφέρουσα δυναμική με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 7, όπου το SDG8 δεν ξεχώρισε, δείχνοντας ότι αφενός σε περιόδους χωρίς κρίση οι εμπλεκόμενοι οδηγούν τις προτεραιότητες αλλού, και ότι η μέχρι τώρα εκπροσώπηση του στα IAMs (μέσω του ΑΕΠ) είναι επαρκής. Τα συνδυαστικά αποτελέσματα των δύο κεφαλαίων ωστόσο υποδηλώνουν ότι το SDG8 εξακολουθεί να είναι προτεραιότητα σε περιόδους κρίσης και μάλιστα πρέπει να επαναπροσδιοριστεί η εκπροσώπηση του στα IAMs λαμβάνοντας ευρύτερους υποστόχους, όπως η απασχολησιμότητα.

Ομοίως, το SDG7 είναι καλά διασυνδεδεμένο και επηρεάζεται άμεσα τόσο από την υγειονομική κρίση όσο και τις διεθνείς συγκρούσεις. Ωστόσο, δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό όλοι οι κόμβοι SDG που συνδέονται άμεσα με μια κρίση. Για παράδειγμα, το SDG16 (ειρήνη, δικαιοσύνη και ισχυροί θεσμοί) και το SDG 17 (εταιρικές σχέσεις) επηρεάζονται άμεσα από διεθνείς συγκρούσεις, αλλά, συνολικά, παρουσιάζουν ορισμένες από τις χαμηλότερες βαθμολογίες ανάμεσα σε όλα τα SDG, ιδίως σε χάρτες που βασίζονται στις αντιλήψεις των ειδικών επί των μοντέλων ή/και περιορίζονται από ικανότητες μοντελοποίησης. Αυτό το αντιφατικό εύρημα υπογραμμίζει τη σημασία της επαρκούς εκπροσώπησης των διασυνδέσεων SDG στα IAM για την ορθή αξιολόγηση των επιπτώσεων, ειδικά στο μέτωπο των διεθνών συγκρούσεων, με τα αποτελέσματά μας να υποδηλώνουν ότι τα IAM είναι λιγότερο επαρκή για την ενσωμάτωση τέτοιων διαστάσεων. Το SDG13 λαμβάνει τον τρίτο υψηλότερο αντίκτυπο σε όλους τους

χάρτες κάτι που υποστηρίζει τη σημασία της κλιματικής αλλαγής ως ακρογωνιαίου λίθου στην ατζέντα για τη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς και αντανακλώντας πρόσφατα ευρήματα σχετικά με τις επιζήμιες επιπτώσεις της κρίσης της COVID-19 και του πολέμου στην Ουκρανία στη δράση για το κλίμα (Zakeri et al., 2022), συμπεριλαμβανομένων των απαντήσεων σε αυτές (Davis et al., 2022; Kemfert et al., 2022). Ωστόσο, οι υψηλές βαθμολογίες στα περισσότερα SDG, ιδίως από την πλευρά των εμπειρογνωμόνων (και σε αρμονία με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 7, υποδηλώνουν τη σημασία των έμμεσων επιπτώσεων που προκαλούνται από τις κρίσεις, ακόμη και σε κόμβους που δεν συνδέονται άμεσα με έναν κόμβο κρίσης (π.χ. SDG12) ή όπου ο αντίκτυπος των κρίσεων δεν είναι διαισθητικά προφανής (π.χ. SDG 4).

Παρά αυτές τις ευρύτερες και ως επί τω πλείστων καθολικές τάσεις σε όλους τους χάρτες, οι επιπτώσεις των κρίσεων στα SDG εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από υποθέσεις σχετικά με τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των SDG, επομένως από τη διαφορά στις διαμορφώσεις των χαρτών, όπως προκύπτουν από τις αποκλίσεις μεταξύ ειδικών στη βιωσιμότητα και ειδικών στη μοντελοποίηση, αλλά τον αντίκτυπο των δυνατοτήτων μοντελοποίησης. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι υπολογιζόμενες επιπτώσεις και το μέγεθος αυτών διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το αν αυτές οι παραδοχές βασίζονται στις αντιλήψεις των ειδικών στη μοντελοποίηση ή των ειδικών στη βιωσιμότητα και αν αυτές οι αντιλήψεις περιορίζονται από τις δυνατότητες μοντελοποίησης. Ο χάρτης που αντικατοπτρίζει τη συμβολή των εμπειρογνωμόνων περιλαμβάνει περισσότερες διασυνδέσεις μεταξύ των SDG από ό,τι ο χάρτης που βασίζεται στους ειδικούς των μοντέλων, αυξάνοντας έτσι τη συνολική σημασία τους, υποδεικνύοντας ότι οι απόψεις των εμπειρογνωμόνων μπορούν να είναι χρήσιμες για τη βελτίωση της προσομοίωσης των SDG στα IAMs, και απηχώντας παρόμοιες εκκλήσεις για να καταστεί η μοντελοποίηση πιο διεπιστημονική (Trutnevyte et al., 2019· van Voorn et al., 2016· Voinov et al., 2016). Ενώ οι ειδικοί ανέδειξαν σχεδόν όλους τα SDG ως σημαντικά, οι ειδικοί επί των μοντέλων παρουσίασαν σαφέστερες προτεραιότητες προς τα SDG 8, 1 και 4. Ωστόσο, η εισαγωγή περιορισμών με βάση τις δυνατότητες μοντελοποίησης επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τον χάρτη των «ειδικών».

Επισημαίνουμε ότι οι δυνατότητες μοντελοποίησης περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη σημασία που αποδίδουν οι εμπειρογνώμονες στα SDGs, φέρνοντάς την πολύ πιο κοντά στον χάρτη των ειδικών στα μοντέλα και τις αντίστοιχες δικές τους προτεραιότητες. Αυτό το εύρημα έχει δύο σημαντικές συνέπειες για την ανάπτυξη των IAMs. Πρώτον, οι απόψεις των ειδικών στη χρήση μοντέλων σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις SDG φαίνεται να καθοδηγούνται από έναν αυτό-

περιορισμό με βάση τις τρέχουσες ή τις επερχόμενες δυνατότητες των μοντέλων τους. Καθώς τα IAM έχουν λάβει κριτική για αδιαφάνεια στην εσωτερική λειτουργίας τους (Bistline et al., 2021), η απουσία λεπτομερών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDGs στα IAMs μπορεί να οδηγήσει στην παρερμηνεία ότι αυτές οι αλληλεπιδράσεις δεν υπάρχουν ή είναι ασήμαντες. Δεύτερον, ενώ οι εμπειρογνώμονες στη βιωσιμότητα μπορούν να υποστηρίξουν τη χρήση μοντέλων παρέχοντας μια πιο ολιστική άποψη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των SDGs, ωστόσο αυτές οι απόψεις μπορούν να περιοριστούν από τις τρέχουσες ικανότητες μοντελοποίησης. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι διασυνδέσεις, ακόμη και στον χάρτη των «ειδικών» με περιορισμούς, παραμένουν σχετικά υψηλές μόνο για τους SDG8, 7 και 13. Το τελευταίο διάστημα, έχει επισημανθεί η ανάγκη να εισαχθούν ειδικοί και μη ειδικοί ενδιαφερόμενοι στο επίκεντρο της διαδικασίας μοντελοποίησης (π.χ., Peng et al., 2021; Doukas and Nikas 2021), στη λογική της συνδιαμόρφωσης γνώσης (Galende-Sánchez and Sorman, 2021; Zellner et al., 2022). Δεδομένου ότι οι χρήστες μοντέλων φαινομενικά φαίνεται να περιορίζουν τις προτεραιότητές τους σε αυτό που τα μοντέλα τους μπορούν ή σχεδιάζονται να είναι σύντομα σε θέση να κάνουν, η συμμετοχή εμπειρογνωμόνων είναι κρίσιμη για το άνοιγμα νέων ερευνητικών ερωτημάτων και απόψεων. Παρ 'όλα αυτά, οι μεγάλες ομοιότητες που βρέθηκαν μεταξύ των απόψεων των εμπειρογνωμόνων και των ειδικών στη χρήση μοντέλων, όταν περιορίζονται από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, δείχνουν ότι, αν δεν αναπτυχθούν νέες ικανότητες μοντελοποίησης, τα ίδια τα μοντέλα θα είναι αυτά που θα οδηγήσουν τις μελλοντικές μελέτες IAM αντί για τις προτεραιότητες των εμπειρογνωμόνων ή/και τις πραγματικές πολιτικές και κοινωνικές ανάγκες, ακόμη και αν αυτοί συμμετέχουν στη διαδικασία. Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μελλοντική ανάπτυξη της εκπροσώπησης των SDG και σχετικών θεματικών στα IAMs μπορεί να εμπλουτιστεί μέσω της διεπιστημονικότητας, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν κατάλληλες τεχνικές λύσεις για την εφαρμογή των προτάσεων των εμπειρογνωμόνων μέσα από την ίδια τη βελτίωση των μοντέλων.

Από μεθοδολογική άποψη, διαπιστώνουμε επίσης σημαντική προστιθέμενη αξία της μεθόδου MCFCM έναντι μιας απλής προσομοίωσης FCM, η οποία δύναται να ενισχυθεί περαιτέρω αν εισαχθεί σε υφιστάμενα εργαλεία FCM (Koutsellis et al., 2022; Mkhitaryan et al., 2020; 2022). Συγκεκριμένα, η μέθοδος MCFCM παρέχει πολύτιμες πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την αξιοπιστία των ευρημάτων σε σύγκριση με μια συμβατική προσέγγιση FCM, καθώς και σχετικά με τη διακύμανση της αβεβαιότητας μεταξύ των διαφόρων SDG όπως προκύπτει από την

αντίστοιχη αβεβαιότητα των υποθέσεων εισόδου. Στα σημεία που οι διαφορές μεταξύ των κόμβων SDG είναι ήδη μικρές, όπως στους δύο χάρτες που δεν λαμβάνουν υπόψη περιορισμούς μοντελοποίησης, η MCFCM δείχνει ότι η ιεράρχηση των επιπτώσεων δεν είναι καθόλου απλή, όπως συνήθως υπονοείται από διάφορα πλαίσια κατάταξης, όπως τα FCM ή εν γένει πολυκριτήριες μέθοδοι κατάταξης, δεδομένου ότι τα εύρη αβεβαιότητας αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ των περισσότερων SDG. Σε χάρτες όπου οι δυνατότητες μοντελοποίησης περιόρισαν τη συμβολή των δύο ομάδων, ο υψηλότερος αντίκτυπος εντοπίζεται στα SDG8, SDG7 και SDG13, ακόμη και υπό αβεβαιότητα, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία αυτού του ευρήματος. Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση, ωστόσο, η ιεράρχηση προτεραιοτήτων μεταξύ τους καθίσταται λιγότερο σαφής, καθώς τα εύρη αβεβαιότητας και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν αλληλεπικαλύψεις. Δευτερευόντως, το SDG13 επικαλύπτεται σε μεγάλο βαθμό με τα SDG12 και 9 στον νοητικό χάρτη των ειδικών στα μοντέλα χωρίς περιορισμούς, δείχνοντας ότι αυτά τα SDGs θεωρούνται επίσης από τους ειδικούς ως ιδιαίτερα επιρρεπή στις κρίσεις. Όταν εισάγονται περιορισμοί με βάση τις δυνατότητες των μοντέλων, βρίσκουμε μερικές από τις υψηλότερες διακυμάνσεις μεταξύ των SDG, ιδίως αυτά που λαμβάνουν τις ισχυρότερες επιδράσεις. Παρόμοια μοτίβα εντοπίστηκαν στον χάρτη που βασίζεται σε εμπειρογνώμονες με περιορισμούς, ενώ τα περισσότεροι SDG είχαν παρόμοια εύρη αβεβαιότητας στους χάρτες και χωρίς περιορισμούς. Επίσης, παρά την αρχική χαμηλότερη αξιολόγησή τους, η μεγάλη αβεβαιότητα συγκεκριμένων SDG (π.χ. SDG 2) μπορεί να προσφέρει πρόσθετους τομείς ενδιαφέροντος, καθώς ο αντίκτυπος των κρίσεων σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πιο ουσιαστικός από ό,τι αρχικά αναμενόταν, κάτι που θα μπορούσε να έχει αμεληθεί σε μια συμβατική μελέτη FCM χωρίς Monte Carlo. Συνοπτικά, αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το MCFCM μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των FCM, παρέχοντας πρόσθετες πληροφορίες σε σύγκριση με μια συμβατική προσέγγιση FCM σε τρία μέτωπα: (1) αύξηση της αξιοπιστίας της κατάταξης και επισήμανση αλληλοεπικαλύψεων, (2) μετριασμός της μεροληψίας των αρχικών επιλογών στην κατασκευή ενός χάρτη και (3) εντοπισμός κόμβων με υψηλή αβεβαιότητα και, ως εκ τούτου, ενδιαφέροντος ανεξάρτητα από την αρχική τιμή που λαμβάνουν σε μια κλασική μελέτη FCM (δηλαδή, μια μικρή τιμή στα σενάρια χωρίς Monte Carlo θα μπορούσε να μετατοπίσει την εστίαση μακριά από ορισμένους κόμβους που διαφορετικά παρουσιάζουν έντονη απόκριση σε διαταραχές αβεβαιότητας).

Μεταξύ των δύο τύπων αβεβαιοτήτων που ενσωματώθηκαν στο MCFCM (διακυμάνσεις στις παραμέτρους εισόδου και στα βάρη των κόμβων που περιγράφουν το σύστημα), το πρώτο είδος αποδείχθηκε ότι έχει μικρότερη επιρροή στην παρούσα μελέτη. Οι διακυμάνσεις στις παραμέτρους εισόδου επηρέασαν κυρίως τους κόμβους που συνδέονταν άμεσα με αυτούς, ενώ οι διακυμάνσεις στα βάρη οδήγησαν σε ένα μεγαλύτερο εύρος αβεβαιότητας σχεδόν σε όλο το φάσμα των κόμβων του συστήματος και στους τέσσερις χάρτες. Από την άποψη των FCM, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του κόμβου ή/και του στοιχείου του συστήματος που διαταράσσεται, με την διαταραχή αυτή να μην διαχέεται πάντα σε ολόκληρο τον χάρτη. Από την άποψη της μοντελοποίησης, με τη σειρά τους, τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι οι παραμετρικές αβεβαιότητες που σχετίζονται με τον τρόπο μοντελοποίησης των αλληλεπιδράσεων (SDGs) μπορούν να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα αποτελέσματα. Συνεπώς, η επιλογή της προσέγγισης μοντελοποίησης στα IAM μπορεί να έχει ισχυρότερο αντίκτυπο στα αποτελέσματα από τα εξωγενή δεδομένα εισόδου (Sognnaes et al., 2021), και άρα ταυτόχρονα προτείνεται η πραγματοποίηση ασκήσεων με χρήση πολλαπλών μοντέλων (Duan et al., 2019), το οποίο σημαίνει ότι ο τρόπος που ενσωματώνεται και περιγράφεται απλοποιημένα το σύστημα σε ένα μοντέλο δύναται να έχει μεγαλύτερη επίδραση από την τιμή μιας παραμέτρου.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 9

Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. Climatic change, 95(3), 297-315.

Ameli, M., Esfandabadi, Z. S., Sadeghi, S., Ranjbari, M., & Zanetti, M. C. (2022). COVID-19 and Sustainable Development Goals (SDGs): Scenario analysis through fuzzy cognitive map modeling. Gondwana Research, in press.

Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H. (2020). Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. Environmental Innovation and Societal Transitions, 35, 271-291.

Assunção, E. R. G. T. R., Ferreira, F. A., Meidutė-Kavaliauskienė, I., Zopounidis, C., Pereira, L. F., & Correia, R. J. C. (2020). Rethinking urban sustainability using fuzzy cognitive mapping and system dynamics. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 27(3), 261-275.

Ausseil, A. G. E., Daigneault, A. J., Frame, B., & Teixeira, E. I. (2019). Towards an integrated assessment of climate and socio-economic change impacts and implications in New Zealand. Environmental Modelling & Software, 119, 1-20.

Baykasoğlu, A., & Gölcük, İ. (2021). Alpha-cut based fuzzy cognitive maps with applications in decision-making. Computers & Industrial Engineering, 152, 107007.

Bistline, J., Budolfson, M., & Francis, B. (2021). Deepening transparency about value-laden assumptions in energy and environmental modelling: improving best practices for both modellers and non-modellers. Climate Policy, 21(1), 1-15.

Davis, S. J., Liu, Z., Deng, Z., Zhu, B., Ke, P., Sun, T., ... & Ciais, P. (2022). Emissions rebound from the COVID-19 pandemic. Nature Climate Change, 12(5), 412-414.

Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision support models in climate policy. European Journal of Operational Research, 280(1), 1-24.

Doukas, H., & Nikas, A. (2021). Involve citizens in climate-policy modelling. Nature, 590(7846), 389-389.

Doukas, H., & Nikas, A. (2022). Europe's energy crisis -- climate community must speak up. Nature, 608, 472.

Duan, H., Zhang, G., Wang, S., & Fan, Y. (2019). Robust climate change research: a review on multi-model analysis. Environmental Research Letters, 14(3), 033001.

Elsamadony, M., Fujii, M., Ryo, M., Nerini, F. F., Kakinuma, K., & Kanae, S. (2022). Preliminary quantitative assessment of the multidimensional impact of the COVID-19 pandemic on Sustainable Development Goals. Journal of cleaner production, 372, 133812.

Fonseca, K., Espitia, E., Breuer, L., & Correa, A. (2022). Using fuzzy cognitive maps to promote nature-based solutions for water quality improvement in developing-country communities. Journal of Cleaner Production, 377, 134246.

Forouli, A., Nikas, A., Van de Ven, D. J., Sampedro, J., & Doukas, H. (2020). A multiple-uncertainty analysis framework for integrated assessment modelling of several sustainable development goals. Environmental Modelling & Software, 131, 104795.

Fujimori, S., Hasegawa, T., & Oshiro, K. (2020). An assessment of the potential of using carbon tax revenue to tackle poverty. Environmental Research Letters, 15(11), 114063.

Galende-Sánchez, E., & Sorman, A. H. (2021). From consultation toward co-production in science and policy: A critical systematic review of participatory climate and energy initiatives. Energy Research & Social Science, 73, 101907.

Gambhir, A., Butnar, I., Li, P. H., Smith, P., & Strachan, N. (2019). A review of criticisms of integrated assessment models and proposed approaches to address these, through the lens of BECCS. Energies, 12(9), 1747.

Grant, N. (2022). The Paris Agreement's ratcheting mechanism needs strengthening 4-fold to keep 1.5° C alive. Joule, 6(4), 703-708.

Groumpos, P. P., & Stylios, C. D. (2000). Modelling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps. Chaos, Solitons & Fractals, 11(1-3), 329-336.

Hamilton, S. H., ElSawah, S., Guillaume, J. H., Jakeman, A. J., & Pierce, S. A. (2015). Integrated assessment and modelling: overview and synthesis of salient dimensions. Environmental Modelling & Software, 64, 215-229.

Harmati, I. Á., & Kóczy, L. T. (2018, July). On the existence and uniqueness of fixed points of fuzzy set valued sigmoid fuzzy cognitive maps. In 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-7). IEEE.

Harmati, I. Á., Hatwágner, M. F., & Kóczy, L. T. (2018, June). On the existence and uniqueness of fixed points of fuzzy cognitive maps. In International conference on information processing and management of uncertainty in knowledge-based systems (pp. 490-500). Springer, Cham.

Harmati, I. Á., Hatwágner, M. F., & Kóczy, L. T. (2021). Global stability of fuzzy cognitive maps. Neural Computing and Applications, in press.

Jewell, J., & Cherp, A. (2020). On the political feasibility of climate change mitigation pathways: is it too late to keep warming below 1.5° C?. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 11(1), e621.

Kemfert, C., Präger, F., Braunger, I., Hoffart, F. M., & Brauers, H. (2022). The expansion of natural gas infrastructure puts energy transitions at risk. Nature Energy, 7(7), 582-587.

Keppo, I., Butnar, I., Bauer, N., Caspani, M., Edelenbosch, O., Emmerling, J., ... & Wagner, F. (2021). Exploring the possibility space: taking stock of the diverse capabilities and gaps in integrated assessment models. Environmental Research Letters, 16(5), 053006.

Knight, C. J., Lloyd, D. J., & Penn, A. S. (2014). Linear and sigmoidal fuzzy cognitive maps: an analysis of fixed points. Applied Soft Computing, 15, 193-202.

Koasidis, K., Karamaneas, A., Kanellou, E., Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2022a). Towards Sustainable Development and Climate Co-governance: A Multicriteria Stakeholders' Perspective. In Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Development (pp. 39-74). Springer, Cham.

Koasidis, K., Nikas, A., Daniil, V., Kanellou, E., & Doukas, H. (2022b). A multi-criteria decision support framework for assessing seaport sustainability planning: The case of Piraeus. Maritime Policy & Management, in press.

Kokkinos, K., Karayannis, V., & Moustakas, K. (2020). Circular bio-economy via energy transition supported by Fuzzy Cognitive Map modeling towards sustainable low-carbon environment. Science of the Total Environment, 721, 137754.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International journal of man-machine studies, 24(1), 65-75.

Koutsellis, T., Xexakis, G., Koasidis, K., Nikas, A., & Doukas, H. (2022). Parameter analysis for sigmoid and hyperbolic transfer functions of fuzzy cognitive maps. Operational Research, in press.

Krey, V., Guo, F., Kolp, P., Zhou, W., Schaeffer, R., Awasthy, A., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Looking under the hood: a comparison of techno-economic assumptions across national and global integrated assessment models. Energy, 172, 1254-1267.

Lee, I. K., & Kwon, S. H. (2010). Design of sigmoid activation functions for fuzzy cognitive maps via Lyapunov stability analysis. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 93(10), 2883-2886.

Liu, X., Zhang, Y., Wang, J., Huang, H., & Yin, H. (2022). Multi-source and multivariate ozone prediction based on fuzzy cognitive maps and evidential reasoning theory. Applied Soft Computing, 119, 108600.

Magazzino, C., & Falcone, P. M. (2022). Assessing the relationship among waste generation, wealth, and GHG emissions in Switzerland: Some policy proposals for the optimization of the municipal solid waste in a circular economy perspective. Journal of Cleaner Production, 351, 131555.

Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., ... & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. Environmental Modelling & Software, 82, 7-20.

McCollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C., De Boer, H. S., Bosetti, V., Busch, S., ... & Riahi, K. (2018). Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. Nature Energy, 3(7), 589-599.

Meinshausen, M., Lewis, J., McGlade, C., Gütschow, J., Nicholls, Z., Burdon, R., ... & Hackmann, B. (2022). Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2° C. Nature, 604(7905), 304-309.

Mkhitaryan, S., Giabbanelli, P. J., de Vries, N. K., & Crutzen, R. (2020). Dealing with complexity: How to use a hybrid approach to incorporate complexity in health behavior interventions. Intelligence-Based Medicine, 3, 100008.

Mkhitaryan, S., Giabbanelli, P., Wozniak, M. K., Nápoles, G., De Vries, N., & Crutzen, R. (2022). FCMpy: a Python module for constructing and analyzing fuzzy cognitive maps. PeerJ Computer Science, 8, e1078.

Morone, P., Yilan, G., & Imbert, E. (2021). Using fuzzy cognitive maps to identify better policy strategies to valorize organic waste flows: An Italian case study. Journal of Cleaner Production, 319, 128722.

Mourhir, A. (2021). Scoping review of the potentials of fuzzy cognitive maps as a modeling approach for integrated environmental assessment and management. Environmental Modelling & Software, 135, 104891.

Mpelogianni, V., & Groumpos, P. P. (2019). Building energy management system modelling via state fuzzy cognitive maps and learning algorithms. IFAC-PapersOnLine, 52(25), 513-518.

Nabavi, E., Daniell, K. A., & Najafi, H. (2017). Boundary matters: the potential of system dynamics to support sustainability?. Journal of Cleaner Production, 140, 312-323.

Nair, A., Reckien, D., & van Maarseveen, M. F. (2019). A generalised fuzzy cognitive mapping approach for modelling complex systems. Applied Soft Computing, 84, 105754.

Nair, A., Reckien, D., & van Maarseveen, M. F. (2020). Generalised fuzzy cognitive maps: Considering the time dynamics between a cause and an effect. Applied Soft Computing, 92, 106309.

Nápoles, G., Papageorgiou, E., Bello, R., & Vanhoof, K. (2016). On the convergence of sigmoid fuzzy cognitive maps. Information Sciences, 349, 154-171.

Natarajan, R., Subramanian, J., & Papageorgiou, E. I. (2016). Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. Computers and Electronics in Agriculture, 127, 147-157.

Nguyen, P. H., & Fayek, A. R. (2022). Applications of fuzzy hybrid techniques in construction engineering and management research. Automation in Construction, 134, 104064.

Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019). A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. Understanding risks and uncertainties in energy and climate policy, 1-54.

Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., Koasidis, K., Doukas, H., Cassetti, G., ... & Chiodi, A. (2021a). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. Science of the Total Environment, 793, 148549.

Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., Koasidis, K., Lund, H., Thellufsen, J. Z., ... & Doukas, H. (2021b). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. Energy, 215, 119153.

Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. Applied Soft Computing, 76, 140-155.

Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2020). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. Environmental Innovation and Societal Transitions, 35, 383-399.

Nylund, P. A., Agarwal, N., Probst, C., & Brem, A. (2022). Firm engagement in UN Sustainable Development Goals: Introduction of a constraints map from a corporate reports content analysis. Journal of Cleaner Production, 371, 133446.

Ou, Y., Iyer, G., Clarke, L., Edmonds, J., Fawcett, A. A., Hultman, N., ... & McJeon, H. (2021). Can updated climate pledges limit warming well below 2° C?. Science, 374(6568), 693-695.

Özesmi, U., & Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. Ecological modelling, 176(1-2), 43-64.

Papageorgiou, E. I. (2010). A novel approach on constructed dynamic fuzzy cognitive maps using fuzzified decision trees and knowledge-extraction techniques. In Fuzzy Cognitive Maps (pp. 43-70). Springer, Berlin, Heidelberg.

Papageorgiou, E. I., Aggelopoulou, K. D., Gemtos, T. A., & Nanos, G. D. (2013). Yield prediction in apples using Fuzzy Cognitive Map learning approach. Computers and electronics in agriculture, 91, 19-29.

Papageorgiou, E. I., Hatwágner, M. F., Buruzs, A., & Kóczy, L. T. (2017). A concept reduction approach for fuzzy cognitive map models in decision making and management. Neurocomputing, 232, 16-33.

Peng, W., Iyer, G., Bosetti, V., Chaturvedi, V., Edmonds, J., Fawcett, A. A., … & Weyant, J. (2021). Climate policy models need to get real about people—here's how. Nature, 594, 174-176.

Peng, Z., & Wu, L. (2017). A new perspective on formation of haze-fog: The fuzzy cognitive map and its approaches to data mining. Sustainability, 9(3), 352.

Peters, G. P. (2016). The'best available science'to inform 1.5 C policy choices. Nature Climate Change, 6(7), 646-649.

Peters, G. P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Fuss, S., Jackson, R. B., Korsbakken, J. I., ... & Nakicenovic, N. (2017). Key indicators to track current progress and future ambition of the Paris Agreement. Nature Climate Change, 7(2), 118-122.

Poblete-Cazenave, M., Pachauri, S., Byers, E., Mastrucci, A., & van Ruijven, B. (2021). Global scenarios of household access to modern energy services under climate mitigation policy. Nature Energy, 6(8), 824-833.

Poczęta, K., Kubuś, Ł., Yastrebov, A., & Papageorgiou, E. I. (2018a). Temperature forecasting for energy saving in smart buildings based on fuzzy cognitive map. In Conference on Automation (pp. 93-103). Springer, Cham.

Poczęta, K., Papageorgiou, E. I., & Yastrebov, A. (2018b). Application of fuzzy cognitive maps to multi-step ahead prediction of electricity consumption. In 2018 Conference on Electrotechnology: Processes, Models, Control and Computer Science (EPMCCS) (pp. 1-5). IEEE.

Qiao, B., Liu, J., Wu, P., & Teng, Y. (2022). Wind power forecasting based on variational mode decomposition and high-order fuzzy cognitive maps. Applied Soft Computing, 109586.

Raoufi, M., & Fayek, A. R. (2020). Fuzzy Monte Carlo agent-based simulation of construction crew performance. Journal of Construction Engineering and Management, 146(5), 04020041.

Ranjbari, M., Esfandabadi, Z. S., Zanetti, M. C., Scagnelli, S. D., Siebers, P. O., Aghbashlo, M., ... & Tabatabaei, M. (2021). Three pillars of sustainability in the wake of COVID-19: A systematic

review and future research agenda for sustainable development. Journal of Cleaner Production, 297, 126660.

Reis, L. A., Drouet, L., & Tavoni, M. (2022). Internalising health-economic impacts of air pollution into climate policy: a global modelling study. The Lancet Planetary Health, 6(1), e40-e48.

Rezaee, M. J., Yousefi, S., & Hayati, J. (2019). Root barriers management in development of renewable energy resources in Iran: An interpretative structural modeling approach. Energy Policy, 129, 292-306.

Robertson, S. (2021). Transparency, trust, and integrated assessment models: An ethical consideration for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 12(1), e679.

Rodrigues, R., Pietzcker, R., Fragkos, P., Price, J., McDowall, W., Siskos, P., ... & Capros, P. (2022). Narrative-driven alternative roads to achieve mid-century CO2 net neutrality in Europe. Energy, 239, 121908.

Sacchelli, S., & Fabbrizzi, S. (2015). Minimisation of uncertainty in decision-making processes using optimised probabilistic Fuzzy Cognitive Maps: A case study for a rural sector. Socio-Economic Planning Sciences, 52, 31-40.

Soergel, B., Kriegler, E., Bodirsky, B. L., Bauer, N., Leimbach, M., & Popp, A. (2021a). Combining ambitious climate policies with efforts to eradicate poverty. Nature communications, 12(1), 1-12.

Soergel, B., Kriegler, E., Weindl, I., Rauner, S., Dirnaichner, A., Ruhe, C., ... & Popp, A. (2021b). A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda. Nature Climate Change, 11(8), 656-664.

Sognnaes, I., Gambhir, A., van de Ven, D. J., Nikas, A., Anger-Kraavi, A., Bui, H., ... & Peters, G. P. (2021). A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. Nature Climate Change, 11(12), 1055-1062.

Song, L., Lieu, J., Nikas, A., Arsenopoulos, A., Vasileiou, G., & Doukas, H. (2020). Contested energy futures, conflicted rewards? Examining low-carbon transition risks and governance dynamics in China's built environment. Energy Research & Social Science, 59, 101306.

Stoddard, I., Anderson, K., Capstick, S., Carton, W., Depledge, J., Facer, K., ... & Williams, M. (2021). Three decades of climate mitigation: why haven't we bent the global emissions curve?. Annual Review of Environment and Resources, 46(1), 653-689.

Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 34(1), 155-162.

Trutnevyte, E., Hirt, L. F., Bauer, N., Cherp, A., Hawkes, A., Edelenbosch, O. Y., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Societal transformations in models for energy and climate policy: the ambitious next step. One Earth, 1(4), 423-433.

Van de Ven, D. J., Sampedro, J., Johnson, F. X., Bailis, R., Forouli, A., Nikas, A., ... & Doukas, H. (2019). Integrated policy assessment and optimisation over multiple sustainable development goals in Eastern Africa. Environmental Research Letters, 14(9), 094001.

Van Soest, H. L., Van Vuuren, D. P., Hilaire, J., Minx, J. C., Harmsen, M. J., Krey, V., ... & Luderer, G. (2019). Analysing interactions among sustainable development goals with integrated assessment models. Global Transitions, 1, 210-225.

van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. Futures, 42(1), 1-14.

Van Voorn, G. A. K., Verburg, R. W., Kunseler, E. M., Vader, J., & Janssen, P. H. (2016). A checklist for model credibility, salience, and legitimacy to improve information transfer in environmental policy assessments. Environmental Modelling & Software, 83, 224-236.

van Vuuren, D. P., Zimm, C., Busch, S., Kriegler, E., Leininger, J., Messner, D., ... & Soergel, B. (2022). Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050. One Earth, 5(2), 142-156.

Vandyck, T., Keramidas, K., Kitous, A., Spadaro, J. V., Van Dingenen, R., Holland, M., & Saveyn, B. (2018). Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. Nature communications, 9(1), 1-11.

Voinov, A., Kolagani, N., McCall, M. K., Glynn, P. D., Kragt, M. E., Ostermann, F. O., ... & Ramu, P. (2016). Modelling with stakeholders–next generation. Environmental Modelling & Software, 77, 196-220.

von Stechow, C., Minx, J. C., Riahi, K., Jewell, J., McCollum, D. L., Callaghan, M. W., ... & Baiocchi, G. (2016). 2° C and SDGs: united they stand, divided they fall?. Environmental Research Letters, 11(3), 034022.

World Bank. (2020). Addressing Crisis Through Infrastructure. Retrieved from: https://www.worldbank.org/en/news/opinion/2020/08/20/addressing-crisis-through-infrastructure

Yang, P., Mi, Z., Coffman, D. M., Cao, Y. F., Yao, Y. F., & Li, J. (2021). The impact of climate risk valuation on the regional mitigation strategies. Journal of Cleaner Production, 313, 127786.

Zakeri, B., Paulavets, K., Barreto-Gomez, L., Echeverri, L. G., Pachauri, S., Boza-Kiss, B., ... & Pouya, S. (2022). Pandemic, War, and Global Energy Transitions. Energies, 15(17), 6114.

Zellner, M. L., Milz, D., Lyons, L., Hoch, C. J., & Radinsky, J. (2022). Finding the Balance Between Simplicity and Realism in Participatory Modeling for Environmental Planning. Environmental Modelling & Software, 157, 105481.

ΕΝΟΤΗΤΑ IV.
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΡΙΣΕΩΝ

Κεφάλαιο 10. Σχεδιάζοντας μια πράσινη μετάβαση από την πανδημία COVID-19 στην Ευρώπη

10.1 Εισαγωγή

Η έξαρση της πανδημίας της COVID-19 στα τέλη του 2019 έχει προκαλέσει σημαντικές προκλήσεις τόσο σε επίπεδο δημόσιας υγείας, όσο και στην ιατρική και ερευνητική κοινότητα που προσπαθεί να αναλύσει και αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις της παγκόσμιας υγειονομικής κρίσης (Fauci et al., 2020). Με πολλά κράτη να αντιμετωπίζουν σημαντικούς και ποικίλους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένων των lockdown, σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης της μετάδοσης του ιού στα διάφορα στάδια εξέλιξης της πανδημίας, η οικονομική δραστηριότητα ήρθε αντιμέτωπη με στασιμότητα, προκαλώντας σημαντικά άμεσες και έμμεσες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (Nicola et al., 2020). Ταυτόχρονα, η έξαρση της πανδημίας συνέπεσε με την σημαντική, και ολοένα και αυξανόμενης επίδρασης, κλιματική κρίση. Οι πανδημίες και η κλιματική κρίση μοιράζονται κοινές ρίζες, με πιο σημαντική την ανθρώπινη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, με επιπτώσεις στην απώλεια βιοποικιλότητας και την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος (Tollefson, 2020). Ωστόσο μοιράζονται και κοινές κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης επίγνωσης και αποδοχής των πολιτικών αντιμετώπισης, κοινωνικές ανισότητες και επιπτώσεις στην αγορά εργασίας (Manzanedo and Manning, 2020). Ο συνδυασμός αυτός συνιστά ένα «τριπλό μέτωπο» κρίσεων το οποίο καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τα επόμενα χρόνια. Οι κρίσεις αυτές οφείλουν να αντιμετωπιστούν αλληλένδετα με συνδυαστικές λύσεις (Nikas et al., 2021b), ειδικά καθώς προσωρινά θετικά περιβαλλοντικά οφέλη της πανδημίας (π.χ. μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων) εξασθενούν (Saadat et al., 2020; Le Quéré et al., 2020) όπως συζητήθηκε και στο Κεφάλαιο 2.

Πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η πανδημία της COVID-19 είχε αρνητική επίδραση στην παγκόσμια αγορά εργασίας. Συγκεκριμένα για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), η αγορά εργασίας δέχτηκε σημαντικές πιέσεις, με την ανεργία να αυξάνεται από το 6.4% τον Μάρτιο του 2020 στο 7.8% τον Αύγουστο του 2020 (Eurostat, 2022), το οποίο ισοδυναμεί με 2.5 εκατομμύρια χαμένες θέσεις εργασίας μέσα σε μια περίοδο 5 μηνών. Παρόλο που τα ποσοστά ανεργίας δείχνουν σημάδια ανάκαμψης, η αγορά εργασίας στο σύνολο της απέχει από την πλήρη επιστροφή στα προ-πανδημίας επίπεδα, με εκτιμήσεις να αναφέρουν ότι η «επιστροφή στην κανονικότητα» θα καθυστερήσει σε σχέση με άλλους τομείς της οικονομίας (IMF, 2021).

Πρώτον, η απότομη αύξηση της ανεργίας έδωσε τέλος σε μια 7-ετή περίοδο σταθερής μείωσης, μια τάση η οποία θα μπορούσε να έχει συνεχιστεί απουσία της πανδημίας. Δεύτερον, η φύση της ίδιας της εργασίας έχει αλλάξει ως αποτέλεσμα της πανδημίας, συμπεριλαμβάνοντας εξ αποστάσεως ή υβριδικές μορφές εργασίας, μειωμένα ωράρια, και συνολικές απώλειες εισοδήματος για το 2020 στο 5% (Eurostat, 2020). Τρίτον, μόνιμες απώλειες θέσεων εργασίας, όπως για παράδειγμα στον τομέα της ενέργειας εξαιτίας της ακύρωσης υλοποίησης έργων και τη διατάραξη της εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω καθυστερήσεων (IRENA, 2020), αναμένεται να επιταχύνουν τη μετατόπιση εργατικού δυναμικού και κεφαλαίων μεταξύ τομέων και την ανακατανομή των θέσεων εργασίας στην ΕΕ, ένα φαινόμενο που πριν την πανδημία αναμενόταν να κυμανθεί στο 1.2% μέχρι το 2050 (Clays et al., 2019; Fragkos and Paroussos, 2018). Τα παραπάνω οδηγούν στη δημιουργία νέων συνθηκών για την αγορά εργασίας, και ειδικά στον τομέα της ενέργειας, όπου οι παραπάνω μεταβολές έρχονται επιπρόσθετα στις αναμενόμενες μετατοπίσεις από την αναμενόμενη απανθρακοποίηση, όπως για παράδειγμα η πιθανή απώλεια 160,000 θέσεων εργασίας στον τομέα του άνθρακα (Alves Dias et al., 2018), εκτός αν δοθεί προσοχή στην ανάπτυξη και ανανέωση των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού. Τέτοια ζητήματα αναδείχθηκαν έντονα στις διαδικασίες συνδιαμόρφωσης, με τα ενδιαφερόμενα μέρη να τονίζουν την ανάγκη μελετών σε ζητήματα απασχολησιμότητας και να προτεραιοποιούν το SDG8 που ενσωματώνει τέτοιου είδους θεματικές σε συνθήκες κρίσης (Κεφάλαια 7 και 9), ενώ προκλήσεις στην απασχολησιμότητα αναδείχθηκαν έντονα και στις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις (Κεφάλαιο 5).

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, σε παρόμοια λογική με την κλιματική αλλαγή, η πανδημία του COVID-19 μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια ανατρεπτική δύναμη (Kivimaa et al., 2021) στο ευρύτερο περιβάλλον της αγοράς εργασίας, τείνοντας να αποσταθεροποιήσει οργανωτικές δομές, ιδίως στο ενεργειακό σύστημα. Ωστόσο, μέσα από τέτοιες κρίσεις εμφανίζονται ευκαιρίες αλλαγής, οι οποίες παρέχουν την δυνατότητα επιλογής διαφορετικών μονοπατιών που μπορούν να ακολουθηθούν καθώς το ενεργειακό σύστημα μεταβάλλεται εξαιτίας των ανατρεπτικών φαινομένων (Geels and Schot, 2007). Παρόλα αυτά η βιωσιμότητα τέτοιων μονοπατιών δεν είναι εξασφαλισμένη. Η απουσία ισχυρής αντίδρασης με την υλοποίηση βιώσιμων πολιτικών, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη μηχανισμών «κλειδώματος» (lock-ins) και σε μεταβατικές τροχιές εξαρτημένες από τον άνθρακα, οι οποίες μπορεί να είναι πιο δύσκολο να αποσταθεροποιηθούν στο μέλλον (Nikas et al., 2022), όπως αναδείχθηκε στις κοινωνικοτεχικές μεταβάσεις (Ενότητα II). Ως αποτέλεσμα, η καθοδήγηση της χάραξης

πολιτικής μέσα στις τρεις αλληλεξαρτώμενες και αλληλοτροφοδοτούμενες κρίσεις (υγειονομική, οικονομική και κλιματική) προς βιώσιμα μονοπάτια αναδύεται ως βασική και σύνθετη πρόκληση.

Προς αυτή την κατεύθυνση, η ΕΕ κινητοποίησε οικονομικούς πόρους για να ενισχύσει την οικονομική ανάκαμψη των κρατών-μελών της μέσα από το πρόγραμμα NextGenerationEU (NGEU) και ειδικά με τον Μηχανισμό Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας (Recovery and Resilience Facility - RRF). Μέσα από τα παραπάνω εργαλεία, η ΕΕ στοχεύει να παρέχει στα κράτη-μέλη πρόσθετη υποστήριξη και να χρηματοδοτήσει επενδύσεις που έχουν ως στόχο την ανάκαμψη στο άμεσο μέλλον (European Commission, 2020a). Στα πλαίσια της κοινής αντιμετώπισης των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της υγειονομικής και κλιματικής κρίσης, τα εθνικά πλάνα ανάκαμψης και ανθεκτικότητας οφείλουν να κατανείμουν τουλάχιστον 37% των κεφαλαίων σε επενδύσεις για την υποστήριξη της πράσινης μετάβασης, συμπεριλαμβάνοντας δράσεις αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Μέσα στους βασικούς στόχους αυτών των πλάνων είναι υποστήριξη ενσωμάτωσης του 40% των 500GW ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) που έχουν ορισθεί ως στόχος μέχρι το 2030 στα πλαίσια του μονοπατιού μηδενικού άνθρακα που έχει χαράξει η ΕΕ (European Commission, 2020b).

Με γνώμονα τις προκλήσεις χάραξης πολιτικής σε επίπεδο ΕΕ για την αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της πανδημίας, και σε συμφωνία με τις προσπάθειες της περιοχής για την αντιμετώπιση της; κλιματικής αλλαγής, όπως μεταξύ άλλων αποτυπώνονται στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal-EGD), η συγκεκριμένη μελέτη έχει ως στόχο να απαντήσει στις ακόλουθες δύο ερευνητικές ερωτήσεις:

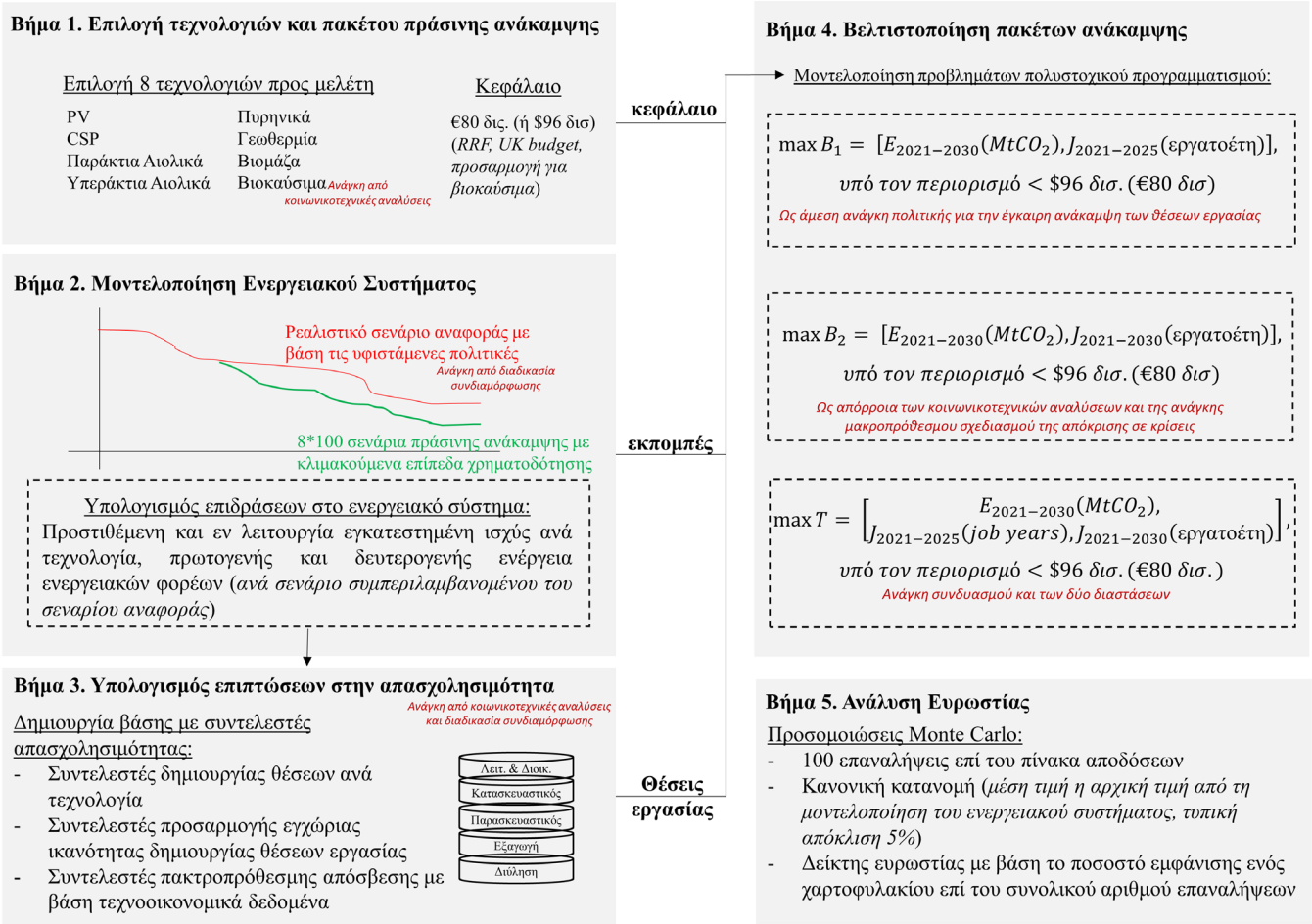
- Ποιο το δυναμικό και τα επίπεδα συμβιβασμού ανάμεσα στη μείωση εκπομπών και τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη δημιουργία θέσεων εργασίας που προκύπτουν από την αξιοποίηση των κεφαλαίων του RRF για επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες ενέργειας?
- Προς ποιες τεχνολογίες πρέπει να κατανεμηθούν τα πράσινα κεφάλαια ανάκαμψης ώστε να μεγιστοποιηθούν εύρωστα τα οφέλη σε επίπεδο δημιουργίας θέσεων εργασίας και μείωσης εκπομπών?

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα, το GCAM (Global Change Analysis Model) (Calvin et al., 2019), ένα μοντέλο ολοκληρωμένης αποτίμησης, συνδυάζεται με την AUGMECON-R (Nikas

et al., 2020), ένα μοντέλο πολυστοχικής βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίων, μαζί με ένα πλαίσιο ανάλυσης της στοχαστικής αβεβαιότητας βασισμένο σε Monte Carlo προσομοιώσεις. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία επιτρέπει την αξιολόγηση επιδοτήσεων σε χαρτοφυλάκια με διαφορετικές τεχνολογίες, λαμβάνοντας υπόψιν την αβεβαιότητα που υπάρχει στην εκτίμηση της απόδοσης των επιδοτήσεων ανά τεχνολογία σε επίπεδο μείωσης εκπομπών και δημιουργίας θέσεων εργασίας. Εστιάζουμε επίσης στα επίπεδα συμβιβασμού ανάμεσα στους στόχους και στην ευρωστία των βέλτιστων επενδυτικών μιγμάτων, επιτρέποντας τον εντοπισμό στοχευμένων πολιτικών επιπτώσεων σε επίπεδο ΕΕ.

10.2 Μεθοδολογία και εργαλεία

Για να απαντήσουμε στα δύο ερωτήματα παραπάνω, χρησιμοποιούμε ένα ολοκληρωμένο μοντελικό πλαίσιο πολλών επιπέδων. Αρχικά, λαμβάνοντας υπόψιν την ευελιξία που έχουν τα κράτη μέλη να επιλέξουν την δομή των εθνικών τους σχεδίων ανάκαμψης και ανθεκτικότητας, προσδιορίζουμε το τμήμα εκείνο του RRF πακέτου που εκτιμάται ότι ρεαλιστικά θα διατεθεί για να υποστηριχθούν έργα και επενδύσεις καθαρής ενέργειας στην ΕΕ συνολικά. Στη συνέχεια, το ολοκληρωμένο μοντέλο αποτίμησης GCAM χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η επίδραση διαφορετικών ποσοστών επιδότησης σε κάθε μια από τις διαθέσιμες καθαρές τεχνολογίες στο ενεργειακό σύστημα συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου εκπομπών. Με τη χρήση βάσεων που περιλαμβάνουν συντελεστές απασχολησιμότητας, οι επιδράσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αλλαγής στο επίπεδο των θέσεων εργασίας στον ενεργειακό τομέα, ως αποτέλεσμα των επιδοτήσεων. Σε επόμενο βήμα χρησιμοποιούμε το μοντέλο πολυστοχικής βελτιστοποίησης AUGMECON-R, προκειμένου να πραγματοποιήσουμε ανάλυση χαρτοφυλακίου των τεχνολογικών επιδοτήσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια που αφορούν τη μείωση εκπομπών και τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Τέλος, πραγματοποιούμε μια ανάλυση στοχαστικής αβεβαιότητας με τη χρήση Monte Carlo προσομοιώσεων επί των υπολογισμένων από το GCAM (και των αντίστοιχων συντελεστών απασχολησιμότητας) τιμών για τη μείωση εκπομπών και τις θέσεις εργασίας, ώστε να εκτιμηθεί το επίπεδο ευρωστίας των βέλτιστων χαρτοφυλακίων με βάση την απόκριση τους στην αβεβαιότητα. Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.1, ενώ μεθοδολογικές λεπτομέρειες αποτυπώνονται στα επόμενα υποκεφάλαια, δίνοντας έμφαση στη μεταφορά γνώσης που καθοδηγεί και ενημερώνει τη διαδικασία με βάση τα προηγούμενα κεφάλαια.



Εικόνα 10.1. Μεθοδολογική προσέγγιση διασύνδεσης των GCAM, AUGMECON-R, βάσης συντελεστών απασχολησιμότητας, και της προσομοίωσης Monte Carlo για την ανάλυση των σεναρίων ανάκαμψης

10.2.1 Ευρωπαϊκό πακέτο πράσινης ανάκαμψης: προσδιορισμός διαθέσιμου κεφαλαίου και τεχνολογιών

Το NGEU είναι ένας χρηματοδοτικός μηχανισμός που έχει ως στόχο να αντλήσει €750 δισ. από την κεφαλαιαγορά για τη δημιουργία του RRF ενός εργαλείου ύψους €672.5 δισ. για την άμεση ανάκαμψη, το οποίο αποτελεί το επίκεντρο της αντιμετώπισης των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της πανδημίας (European Commission, 2020a). Ανάμεσα στα κριτήρια επιλεξιμότητας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένει τα κράτη μέλη να κατανείμουν στα εθνικά τους πλάνα τουλάχιστον 37% και 20% από τα κεφάλαια που αιτούνται σε επενδύσεις και μεταρρυθμίσεις για την ενίσχυση της πράσινης και ψηφιακής μετάβασης αντίστοιχα, με έμφαση στην συνεισφορά στις βασικές πρωτοβουλίες που έχουν τεθεί από την «Ετήσια Στρατηγική για

τη Βιώσιμη Ανάπτυξη 2021» (European Commission, 2021). Συγκεκριμένα για την πράσινη μετάβαση, οι επιλεγμένες δράσεις θα πρέπει να συμβάλλουν στην επίτευξη του αναθεωρημένου στόχου που έχει τεθεί από το EGD για μείωση των εκπομπών κατά 55% έως το 2030 (Jäger-Waldau et al., 2020). Προς αυτό το στόχο, αυτό σημαίνει ότι επενδύσεις χρηματοδοτούμενες από το RRF θα πρέπει να αξιοποιηθούν ώστε να καλύψουν το 40% των πρόσθετων 500 GW ΑΠΕ που πρέπει να εγκατασταθούν μέχρι το 2030, την εγκατάσταση 6 GW για την ηλεκτρόλυση, παραγωγή και μεταφορά 1 εκ. τόνων υδρογόνου από ΑΠΕ στην ΕΕ, τον διπλασιασμό του ρυθμού ανακαινίσεων, και την δημιουργία ενός από τους τρεις εκ. σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, και τους μισούς από τους 1,000 σταθμούς υδρογόνου που απαιτούνται μέχρι το 2030.

Με βάση τις παραπάνω προτεραιότητες, εκτιμάται ότι περίπου €250 δισ. αναμένεται να διατεθούν για την υποστήριξη επενδύσεων σε ΑΠΕ και έργα/υποδομές καθαρής ενέργειας, στην ενεργειακή αποδοτικότητα στο δομημένο περιβάλλον και στις βιώσιμες μετακινήσεις. Με βάση εκτιμήσεις σχετικές με τα ανακοινωθέντα έργα, €75 δισ. αναμένεται να διατεθούν προς 8 τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, που συμπεριλαμβάνουν φωτοβολταϊκά μεγάλης κλίμακας (PV), συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα (CSP), χερσαία και παράκτια αιολικά πάρκα, πυρηνική, γεωθερμική, βιομάζα, και βιοκαύσιμα, εξαιρουμένων σχετικών επενδύσεων σε υποδομές (Ernst & Young, 2020). Αυτές οι πρώτες ενδείξεις σχετικά με τις ροές κεφαλαίου καταδεικνύουν ανταγωνισμό ανάμεσα στις 8 τεχνολογίες, σε αντίθεση με άλλα τμήματα του RRF, όπου η κατανομή κεφαλαίων έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση (π.χ. υποδομές δικτύου). Επομένως, ο βέλτιστος τρόπος με τον οποίο μπορούν να κατανεμηθούν τα κεφάλαια ώστε να μεγιστοποιηθούν τα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη αποτελεί σημαντική πρόκληση. Διευκρινίζουμε ότι οι περισσότερες τεχνολογίες αφορούν καθαρότερες μορφές παραγωγής ενέργειας, εκτός από τα βιοκαύσιμα τα οποία θεωρητικά διαφοροποιούνται. Η τεχνολογία αυτή επιλέχθηκε να συμμετέχει ανάμεσα στις επιλεγμένες εναλλακτικές (παρόλο που δεν εμφανιζόταν εξαρχής στα ανακοινωμένα έργα προς χρηματοδότηση; Ernst & Young, 2020) ως αποτέλεσμα των κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων που κατέδειξαν το σημαντικό συμπληρωματικό τους ρόλο (π.χ., μαζί με τον εξηλεκτρισμό) και μάλιστα την άμεση επίδραση τους, που είναι κομβική στην απόκριση σε κρίσεις. Έτσι η συμπερίληψη τους επιτρέπει στην τεχνολογία να ανταγωνιστεί και να αποτυπώσει πιθανά οφέλη των επενδύσεων σε ένα σημαντικό πακέτο χρημάτων. Στο μοντέλο GCAM το Ηνωμένο Βασίλειο (ΗΒ) δεν αντιπροσωπεύεται ξεχωριστά από την ΕΕ, ομοίως με τα περισσότερα μοντέλα ολοκληρωμένης

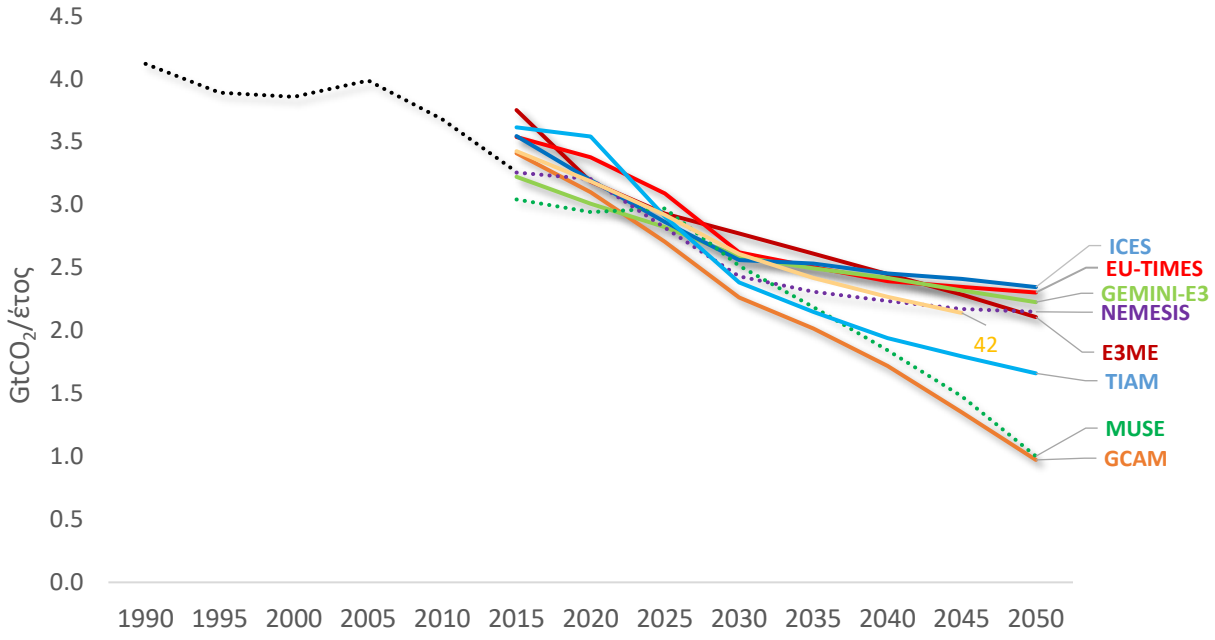
αποτίμησης που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη διεθνών επιστημονικών αξιολογήσεων και τη χάραξη εθνικών και διεθνών κλιματικών πολιτικών; για το λόγο αυτό λαμβάνουμε υπόψιν ένα πρόσθετο ποσό της τάξης των €5 δισ. από το αντίστοιχο οικονομικό πλάνο του ΗΒ που αφορά παρόμοιες επενδύσεις (HM Government, 2020), με αποτέλεσμα τα τελικά επιλεγμένα διαθέσιμα κεφάλαια που πρέπει να διατεθούν στις 8 τεχνολογίες να ανέρχονται στα €80 δισ.

10.2.2 Σενάρια Αναφοράς και Ανάκαμψης

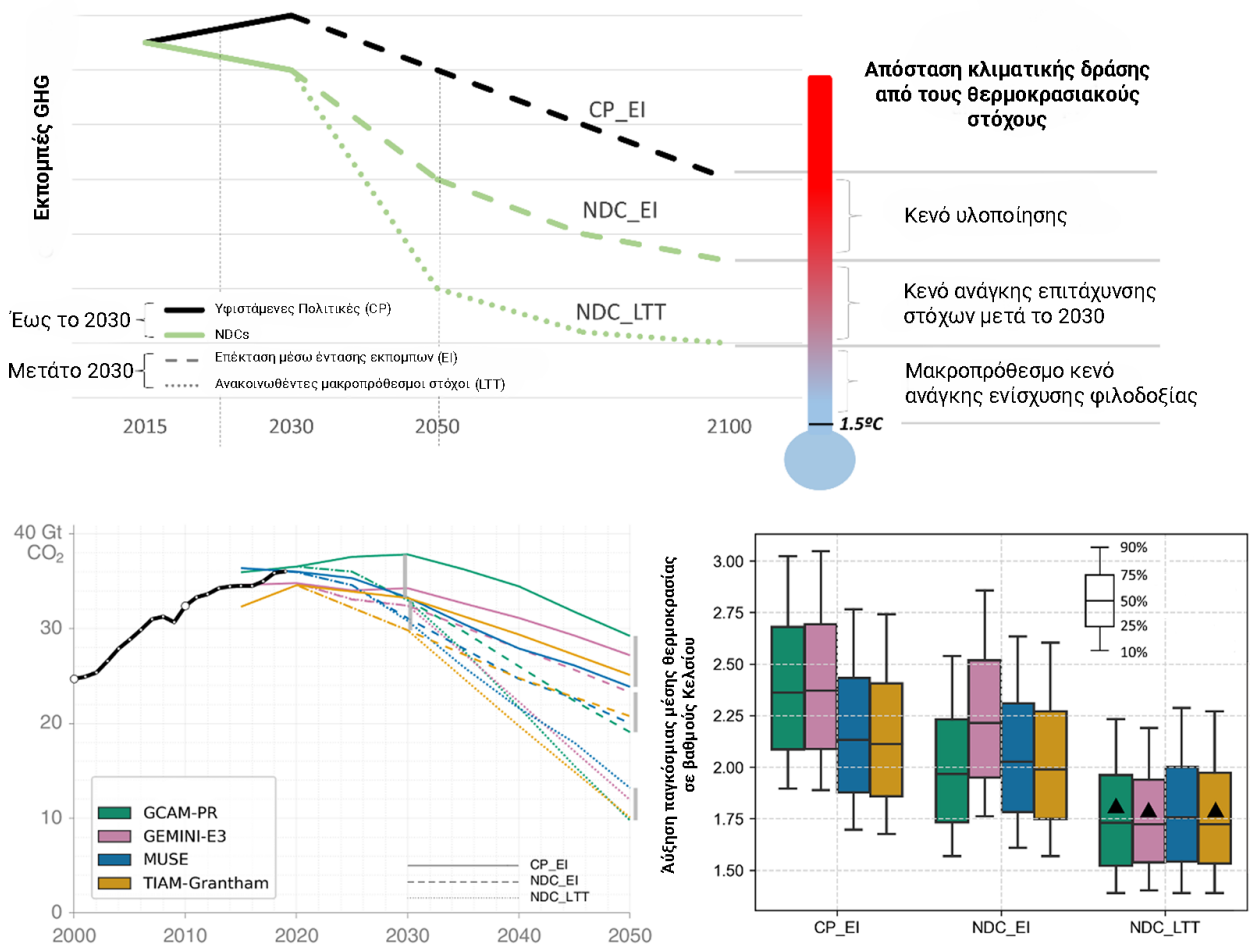
Τα μοντέλα ολοκληρωμένη αποτίμησης έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για να απαντήσουν ερωτήματα σχετικά με την πανδημία της COVID-19 (π.χ. Shan et al., 2021; Kikstra et al., 2021; Lahcen et al., 2020; Pollitt et al., 2021). Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιούμε το GCAM, ένα αναδρομικό-δυναμικό μοντέλο βελτιστοποίησης κόστους, ώστε να εκτιμήσουμε τον αντίκτυπο της παροχής επιδοτήσεων στις 8 επιλεγμένες τεχνολογίες στο ενεργειακό σύστημα. Προκειμένου να αξιολογηθεί η συνεισφορά των σεναρίων ανάκαμψης, ένα σενάριο αναφοράς προ-πανδημίας διαμορφώθηκε ακολουθώντας τη λογική του σεναρίου "που βαδίζει η ΕΕ" (Nikas et al., 2021a), το οποίο ποσοτικοποιεί την επίδραση των υπαρχουσών πολιτικών στην ΕΕ μέχρι το 2030 εφόσον υλοποιηθούν. Η ανάγκη για ένα τέτοιο ρεαλιστικό σενάριο αναφοράς προέκυψε από τα αποτελέσματα του workshop που παρουσιάστηκαν στο Υποκεφάλαιο 7.4.2. Αυτές οι πολιτικές περιλαμβάνουν τους προ πανδημίας στόχους (π.χ. 43% μείωση εκπομπών στους τομείς που καλύπτονται από το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU ETS), 32% ΑΠΕ στους ενεργειακούς τομείς, 3.5% προηγμένα βιοκαύσιμα στο μείγμα καυσίμου μέχρι το 2030) και τοποθετούνται χρονικά πριν την αύξηση της φιλοδοξίας όπως προέκυψε από το EGD και το συνοδευόμενο πακέτο "Fit for 55". Ο λόγος αυτής της επιλογής είναι ότι τα πακέτα ανάκαμψης οφείλουν να συνεισφέρουν προς την επίτευξη αυτών των νέων στόχων. Τα αποτελέσματα αυτού του σεναρίου αναφοράς παρουσιάζονται στην Εικόνα 10.2 με τη χρήση πολλών μοντέλων.

Ωστόσο, πέρα όμως από το προ πανδημίας σενάριο αναφοράς που χρησιμοποιούμε σαν σενάριο βάσης στην ανάλυση των πακέτων ανάκαμψης, για να απαντήσουμε πλήρως στο ερώτημα «που βαδίζει ο κόσμος;» που έθεσαν οι αποφασίζοντες, επεκτείνουμε την ανάλυση για τις πολιτικές και τους μακροπρόθεσμους στόχους που ανακοινώθηκαν μετά το COP26 στη Γλασκώβη (Εικόνα 10.3). Δείχνουμε ότι το τελευταίο κύμα πολιτικών που ανακοινώθηκαν στα πλαίσια του COP26 οδηγεί σε αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 2.1-2.4^{o}C, τα NDCs που θέτουν στόχους μέχρι το 2030 οδηγούν σε αύξηση κατά 2.0-2.2^{o}C, και οι μακροπρόθεσμοι στόχοι μηδενικών εκπομπών έως το 2050 οδηγούν σε αύξηση κατά 1.7-1.8^{o}C. Οι θερμοκρασίες αυτές

αφορούν το τέλος του αιώνα (2100) όπου η επέκταση έχει πραγματοποιηθεί διατηρώντας τις τάσεις της έντασης εκπομπών, ενώ σε αυτές υπάρχει πρόσθετη αβεβαιότητα (που δεν ενσωματώνεται στα εύρη) του κλιματικού μοντέλου για την μετάφραση των εκπομπών σε θερμοκρασίες (Εικόνα 10.3). Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι αν και ο ισχυρότερος στόχος της συμφωνίας του Παρισιού για μείωσης της αύξησης στον 1.5°C δεν επιτυγχάνεται, ο γενικότερος στόχος για περιορισμό της αύξησης σε πολύ κάτω από 2°C φαίνεται να επιτυγχάνεται μέσα από τις μακροπρόθεσμες δεσμεύσεις, οι οποίες ωστόσο συνοδεύονται από ισχυρά προβλήματα υλοποιησιμότητας, ένα κενό το οποίο είναι πλέον ιδιαίτερα σημαντικό να κλείσει. Όπως συζητήθηκε και στην περίπτωση της Κένυας (Κεφάλαιο 8), ακόμα και αν το κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον συνίσταται από σημαντικές διαφορές, δεν αρκεί η ύπαρξη πολιτικών και στόχων αλλά η αποτελεσματική υλοποιησιμότητα τους στην πράξη. Τα πακέτα ανάκαμψης και άρα και η βελτιστοποίηση που επιχειρούμε σε αυτό το κεφάλαιο συμβάλλουν προς αυτή την κατεύθυνση.



Εικόνα 10.2. Εκπομπές CO2 του τομέα ενέργειας στην ΕΕ στο σενάριο αναφοράς «Που βαδίζει η Ευρώπη



Εικόνα 10.3. Τα τρία κενά στην κλιματική δράση, και οι εκπομπές και η θερμοκρασιακή αύξηση με βάση το σενάριο «που βαδίζει ο κόσμος» μετά τις ανακοινώσεις του COP26 στη Γλασκώβη.

Στη συνέχεια, πρόσθετα στο σενάριο αναφοράς των υπαρχουσών πολιτικών, υπολογίζουμε 100 σενάρια ανάκαμψης για κάθε μια από τις 8 τεχνολογίες (800 σενάρια συνολικά), σταδιακά αυξάνοντας το ποσό επιδότησης σε κάθε βήμα/σενάριο μέχρι να φτάσουμε στο μέγιστο δυνατό ποσό επιδότησης—δηλαδή το χαμηλότερο ανάμεσο στο μέγιστο ποσό με βάση το τεχνολογικό κόστος και το συνολικό διαθέσιμο κεφάλαιο των €80 δισ. (το οποίο αντιστοιχεί σε 96 δισ. USD το 2020, που αποτελεί την εσωτερική νομισματική βάση αναφοράς για το GCAM). Για κάθε σενάριο και άρα για κάθε επίπεδο επιδότησης ανά τεχνολογία, εξάγουμε από το GCAM την επίδραση στις εκπομπές, και την επίδραση στην χρησιμοποιούμενη εγκατεστημένη ισχύ, την πρόσθετη εγκατεστημένη ισχύ και στην πρωτογενή δευτερογενή ενέργεια για 12 τεχνολογίες/καύσιμα (βιοκαύσιμα, βιομάζα, άνθρακας, CSP, φυσικό αέριο, γεωθερμία, πυρηνική,

χερσαία και παράκτια αιολικά, πετρέλαιο, PV και φωτοβολταϊκά στέγης), επιτρέποντας των υπολογισμό της απασχολησιμότητας (βλέπε Ενότητα 2.3).

Τα αποτελέσματα από τα σενάρια ανάκαμψης καταγράφονται ως προς την διαφορά που προκαλούν σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η προσέγγιση αυτή είναι προτιμητέα όταν αναλύεται η μεταβολή θέσεων εργασίας, καθώς επιτρέπει την αναγνώριση και καταγραφή μετατοπίσεων στην αγορά εργασίας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς μεταξύ όλων των τεχνολογιών και όχι μόνο την καταγραφή της αθροιστικής απασχολησιμότητας σε απόλυτη τιμή. Η προσέγγιση αυτή επίσης λαμβάνει υπόψιν την αντικατάσταση θέσεων από συμβατικές μορφές ενέργειας (García-García et al., 2020), το οποίο αποτελεί έναν σημαντικό κίνδυνο που απασχολεί κοινότητες οι οποίες βασίζονται οικονομικά στη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων (Baran et al., 2020).

10.2.3 Συντελεστές Απασχολησιμότητας

Σε αντίθεση με μοντέλα που βασίζονται σε πίνακες εισόδου-εξόδου (Distelkamp and Meyer, 2019; D'Alessandro et al., 2020), γενικής ισορροπίας (Fujimori et al., 2020; Fragkos et al., 2018) ή μακροοικονομετρικά μοντέλα (Spijker et al., 2020), η αγορά εργασίας δεν αντιπροσωπεύεται εσωτερικά στο GCAM. Για την αντιμετώπιση αυτού του κενού, η χρήση εξωτερικών βάσεων με συντελεστές απασχολησιμότητας έχει προταθεί (Fragkos and Paroussos, 2018; Malik et al., 2021), οι οποίοι προσφέρουν την ικανότητα αποσύνθεσης και ανάλυσης της απασχολησιμότητας σε επίπεδο τομέων. Ωστόσο μέχρι στιγμής, η χρήση των συντελεστών έχει προταθεί λογιστικά για τον υπολογισμό των επιπτώσεων των μονοπατιών απανθρακοποίησης στις θέσεις εργασίας, και όχι για την βελτιστοποίηση τους προς το σκοπό της υποστήριξης χάραξης πολιτικής, από το οποίο προκύπτει ο συνδυασμός με την AUGMECON-R (βλέπε υποκεφάλαιο 10.2.4) και το οποίο συνιστά μεθοδολογική επέκταση με βάση την ανάγκη επέκτασης των δυνατοτήτων των μοντέλων, που αποτυπώθηκε στο Κεφάλαιο 9.

Με δεδομένο ότι τα σενάρια ανάκαμψης υπολογίζονται ως διαφορά με το σενάριο αναφοράς, και ότι οι επιδοτήσεις εφαρμόζονται μετά το 2021, η μεταβολή της απασχολησιμότητας το 2020 θεωρείται μηδενική. Για το 2025 (το πρώτο χρονικό βήμα του GCAM), η απασχόληση που προκύπτει για κάθε μια από τις 12 τεχνολογίες υπολογίστηκε με βάση 5 διαφορετικές διαδικασίες/στάδια της παραγωγής ενέργειας: (i) εξόρυξη και/ή (ii) διύλιση (ορυκτά καύσιμα, βιομάζα και βιοκαύσιμα), καθώς επίσης (iii) λειτουργία και διοίκηση, (iv) κατασκευή, και (v) παρασκευή (πλην βιοκαυσίμων), χρησιμοποιώντας τους συντελεστές του Πίνακα 10.1. Για να

εναρμονίσουμε τους υπολογισμούς απασχόλησης στα διαφορετικά στάδια, όλα τα κέρδη σε θέσεις εργασίας δίνονται σε εργατοέτη. Οι συντελεστές απασχολησιμότητας για τον τομέα παραγωγής ενέργειας αντλήθηκαν από τους Rutovitz et al. (2015), μια ευρέως διαδεδομένη βάση στη βιβλιογραφία (Malik et al, 2021). Κατ' εξαίρεση, οι συντελεστές για τα ορυκτά καύσιμα και τα βιοκαύσιμα αντλήθηκαν από τους Pai et al. (2021), που βασίστηκαν στους Rutovitz et al. (2015) αλλά εισήγαγαν μια πιο λεπτομερή χωρικά αναπαράσταση των συγκεκριμένων καυσίμων. Οι συντελεστές για την παραγωγή και εξόρυξη προσαρμόστηκαν με βάση την ικανότητα της ΕΕ να δημιουργεί εσωτερικές θέσεις εργασίας για να καλύψει την πρόσθετη εγκατεστημένη ισχύ κάθε τεχνολογίας; π.χ. τα υλικά παραγωγής για φωτοβολταϊκά πάνελ στην ΕΕ βασίζονται σε εισαγωγές, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ένα τμήμα των δημιουργούμενων θέσεων εργασίας να πρέπει να προσμετράται αλλού (όπως στην Κίνα, που κυριαρχεί στην εφοδιαστική αλυσίδα). Οι συγκεκριμένοι συντελεστές για τις εισαγωγές υπολογίστηκαν με βάση το ποσοστό συνεισφοράς της εσωτερικής παραγωγής στην εσωτερική ζήτηση (IEA, 2019; World Nuclear Association, 2019), υποθέτοντας ότι το ποσοστό αυτό δεν πρόκειται να διαφοροποιηθεί ριζικά στο κοντινό μέλλον, μέχρι το 2025 όπου τα κεφάλαια του πακέτου ανάκαμψης θα έχουν διατεθεί ήδη.

Πίνακας 10.1. Συντελεστές απασχολησιμότητας το 2025

Συντελεστές απασχολησιμότητας 2025							
Τεχνολογία	Παρασκευή	Κατασκευή	Λειτουργία & Διοίκηση	Διύλιση	Εξόρυξη	Συντελεστής εισαγωγών παρασκευής	Συντελεστής εισαγωγών εξόρυξης
	Εργατοέτη ανά εγκατεστημένο GW			*Εργατοέτη ανά PJ*		*Ποσοστό ζήτησης από εισαγωγές (2018 τιμές) (%)*	
Βιοκαύσιμα	-	-	-	7.3	-	-	-
Βιομάζα	2690	12800	1500	-	29..9	-	5.2
Άνθρακας	5400	11200	140	-	26.9	-	52.4
CSP	3627	7255	405	-	-	-	-
Φυσικό Αέριο	930	1300	140	-	8.6	-	78.7
Γεωθερμία	3687	6429	375	-	-	-	-
Πυρηνική	1300	11800	600	-	7.3	-	100
Χερσαία Αιολικά	4250	2894	278	-	-	0	-
Παράκτια Αιολικά	12821	6575	183	-	-	0	-
Πετρέλαιο	930	1300	140	1.5	14.4	-	87.1

PV (μεγάλης κλίμακας)	3775	7325	367	-	-	76.7	-
PV στέγης	3775	13561	740	-	-	76.7	-

Υποθέτουμε ότι οι επιδοτήσεις θα διατεθούν εντός της πρώτης χρονικής περιόδου του GCAM (μέχρι το 2025), το οποίο ακολουθεί τη λογική και πρόθεση της ευρωπαϊκής επιτροπής τα κεφάλαια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν νωρίτερα (European Commission, 2020a). Ωστόσο, είναι αναμενόμενο τμήματα των επιδοτήσεων να δοθούν προς το τέλος αυτής της περιόδου—ή σε τεχνολογίες με μεγάλη διάρκεια κατασκευής (π.χ. πυρηνική, παράκτια αιολικά)—με αποτέλεσμα η εγκατεστημένη ισχύς σε αυτές τις περιπτώσεις να τίθεται σε λειτουργία στην περίοδο 2025-2030. Για το λόγο αυτό, υπολογίζουμε τα κέρδη στην απασχόληση μέχρι και το 2030 (βλέπε υποκεφάλαιο 10.2.4 παρακάτω), χρησιμοποιώντας τους συντελεστές απασχολησιμότητας του Πίνακα 10.1, προσαρμοσμένων ώστε να λάβουν υπόψιν τα μειούμενα CAPEX and OPEX ανά τεχνολογία στην εξέλιξη του χρόνου (Giarola et al., 2021), όπως προτείνουν οι Ram et al. (2020).

10.2.4 Ανάλυση Χαρτοφυλακίου

Η επίδραση των 800 σεναρίων ανάκαμψης σε επίπεδο εκπομπών και απασχολησιμότητας χρησιμοποιούνται μετά ως είσοδο στην AUGMECON-R, ένα πολυστοχικό μοντέλο βελτιστοποίησης, για τον υπολογισμό κυρίαρχων χαρτοφυλακίων με βάση συνδυασμούς από επιδοτήσεις σε διαφορετικές τεχνολογίες με σκοπό την εύρεση των κατάλληλων μειγμάτων που βελτιστοποιούν την περιβαλλοντική απόδοση και τις θέσεις εργασίας που προκύπτουν από το πράσινο πακέτο ανάκαμψης. Διαφορετικά προβλήματα διαμορφώθηκαν για να δώσουν απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν, ενισχύοντας ταυτόχρονα τις χρήσιμες πληροφορίες για την χάραξη πολιτικής ανάλογα με την κατεύθυνση των προτεραιοτήτων αναφορικά με το χρόνο και τη βιωσιμότητα της απόδοσης των χρησιμοποιούμενων κεφαλαίων. Αρχικά, διαμορφώνουμε ένα διστοχικό πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού (B_1), στο οποίο τα χαρτοφυλάκια βελτιστοποιούνται με βάση τις αθροιστικές μειώσεις εκπομπών από το 2021 μέχρι το 2030 ($E_{2021-2030}$), λαμβάνοντας υπόψιν ότι το 2030 αποτελεί σταθμό για την επίτευξη των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών (NDC), και με βάση τις αθροιστικές θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από το 2021 έως το 2025 ($J_{2021-2025}$); αυτό το χρονικό διάστημα αποτελεί σημαντική πολιτική προτεραιότητα και άρα έχει αξία για τους φορείς χάραξης πολιτικής καθώς επιθυμούν ταχεία απόδοση των επενδύσεων τους ώστε να επιτύχουν μια ομαλή οικονομική ανάκαμψη από τις επιδράσεις της πανδημίας (Εξίσωση 10.1). Στη συνέχεια,

διαμορφώνουμε ένα δεύτερο ελάχιστα τροποποιημένο πρόβλημα (B_2), όπου πάλι λαμβάνονται υπόψιν οι αθροιστικές μειώσεις εκπομπών μέχρι το 2030, αλλά αυτή τη φορά αξιολογούνται οι αθροιστικές θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από το 2021 έως το 2030 ($J_{2021-2030}$) ώστε να υπολογισθεί η πλήρης συνεισφορά των επιδοτήσεων και να αναδειχθούν μακροπρόθεσμες τάσεις (Εξίσωση 10.2), ταυτόχρονα εξερευνώντας τον βαθμό στον οποίο η δημιουργούμενες θέσεις εργασίας μπορούν να διατηρηθούν στο μέλλον. Αυτή η επιλογή προκύπτει ως άμεση συνέπεια των κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων, όπου διαπιστώθηκε ότι άμεσες αποφάσεις για την απόκριση σε μια κρίση μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο μέλλον, και άρα κρίνεται απαραίτητο ο σχεδιασμός να λαμβάνει υπόψιν αυτές τις μακροπρόθεσμες τάσεις. Αντιλαμβανόμενοι την ανάγκη να δημιουργηθούν τόσο θέσεις εργασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα όσο και αυτές οι θέσεις να είναι βιώσιμες στο μέλλον, διαμορφώνουμε ένα τρίτο, τριστοχικό αυτή τη φορά, μαθηματικό πρόβλημα (T), στο οποίο λαμβάνονται υπόψιν ταυτόχρονα και οι τρεις αντικειμενικές (Εξίσωση 10.3). Τα τρία προβλήματα επιλύονται το ένα ανεξάρτητα από το άλλο. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για την αναγνώριση των διαφορών και τάσεων ανάμεσα στον βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό των κερδών στην απασχολησιμότητα, αλλά και την αποτύπωση των συμβιβασμών αλλά και συνεργιών ανάμεσα στις τρεις προτεραιότητες. Τα τρία προβλήματα βελτιστοποίησης διαμορφώνονται ως εξής:

$$\max B_1 = [E_{2021-2030}(MtCO_2),\ J_{2021-2025}(job\ years)],\quad subject\ to\ < \$96\ billion\ (€80\ billion) \tag{10.1}$$

$$\max B_2 = [E_{2021-2030}(MtCO_2),\ J_{2021-2030}(job\ years)],\quad subject\ to\ < \$96\ billion\ (€80\ billion) \tag{10.2}$$

$$\max T = [E_{2021-2030}(MtCO_2),\ J_{2021-2025}(job\ years), J_{2021-2030}(job\ years)],\quad subject\ to\ < \$96\ billion\ (€80\ billion) \tag{10.3}$$

10.2.5 Ανάλυση ευρωστίας

Για να αυξήσουμε την εμπιστοσύνη των φορέων χάραξης πολιτικής στα υπολογισμένα χαρτοφυλάκια, χρησιμοποιούμε και τροποποιούμε ένα πλαίσιο ανάλυσης της ευρωστίας (Forouli et al., 2020), βασισμένο σε προσομοιώσεις Monte Carlo, για να υπολογίσουμε την αβεβαιότητα των αλλαγών του ενεργειακού συστήματος, όπως αυτό συνήθως αντιπροσωπεύεται στα μοντέλα ολοκληρωμένης αποτίμησης (Pfenninger et al., 2017; Ellenbeck and Lilliestam, 2019).

Συγκεκριμένα, ακολουθώντας μια κανονική κατανομή με μέση τιμή τα αποτελέσματα του GCAM (και τις αντίστοιχες μετατροπές σε απασχολησιμότητα) και μια τυπική απόκλιση 5% επί της μέσης τιμής (Forouli et al., 2019), πραγματοποιούνται 100 επαναλήψεις της ανάλυσης

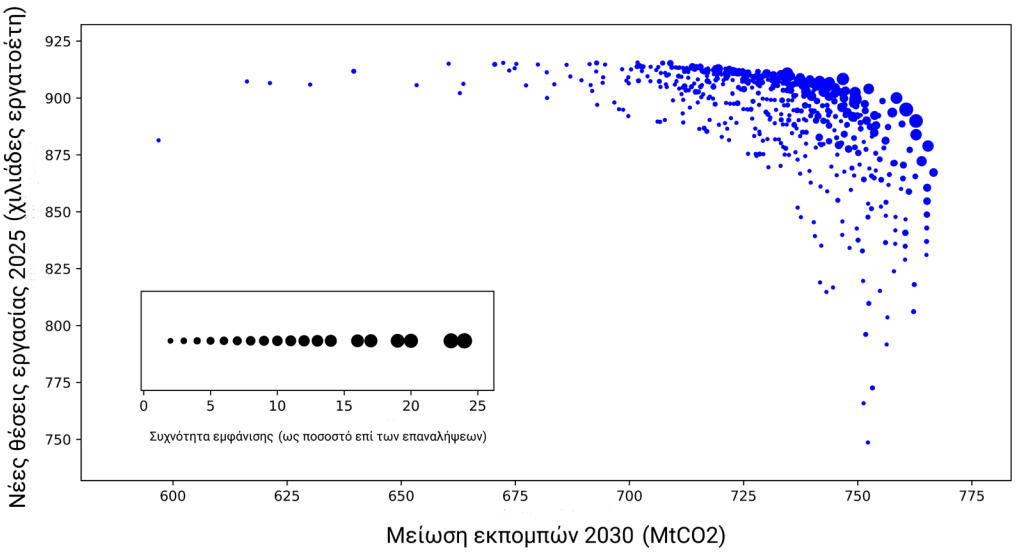
χαρτοφυλακίου (Ενότητα 2.4) ώστε να υπολογισθεί η τρωτότητα των βέλτιστων χαρτοφυλακίων σε αβεβαιότητες που σχετίζονται με την απόδοση κάθε μεμονωμένης επένδυσης σε επίπεδο δημιουργίας θέσεων εργασίας αλλά και μείωσης εκπομπών. Από επανάληψη σε επανάληψη, είναι πιθανό διαφορετικά χαρτοφυλάκια να εμφανίζονται ως κυρίαρχα, ενώ άλλα εκτοπίζονται από το χώρο ικανών λύσεων (μέτωπο Pareto), εξαιτίας των μεταβλητών αποδόσεων των επιδοτήσεων στις εκπομπές και στην απασχόληση. Για το λόγο αυτό, εισάγουμε ένα δείκτη ευρωστίας ο οποίος αναπαριστά τον αριθμό των επαναλήψεων στον οποίο κάθε χαρτοφυλάκιο αποτέλεσε κομμάτι των κυρίαρχων λύσεων (μέτωπο Pareto) από τις 100 συνολικά επαναλήψεις. Η φυσική σημασία της ευρωστίας σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αν ένα χαρτοφυλάκιο συστηματικά αποτελεί μέρος του χώρου λύσεων σε x επαναλήψεις, αυτό σημαίνει ότι είναι πιο εύρωστο από ένα χαρτοφυλάκιο που εμφανίζεται σε y<x επαναλήψεις, έναντι της υποτιθέμενης παραμετρικής αβεβαιότητας στα αποτελέσματα του μοντέλου.

10.3 Αποτελέσματα

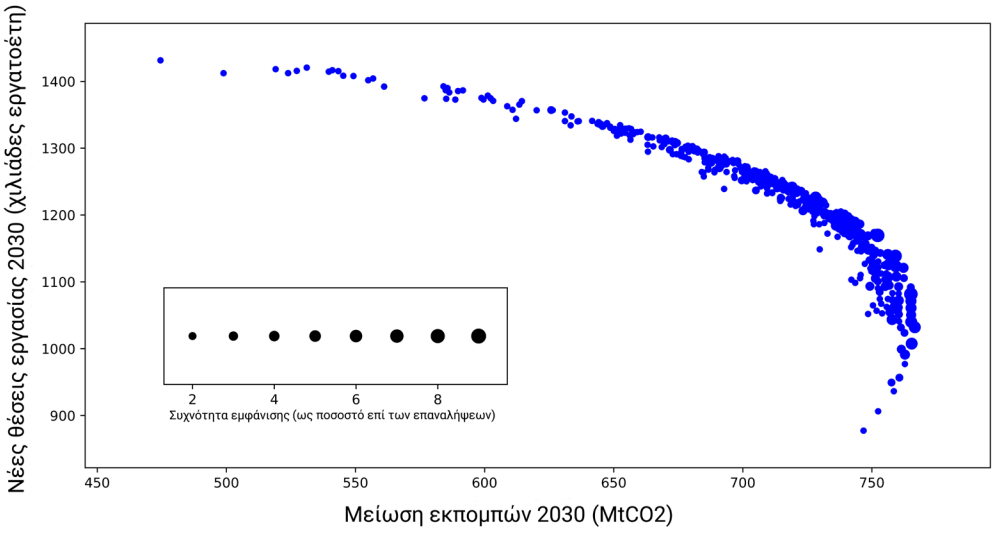
Ακολουθώντας τα πολλαπλά στάδια της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε στο Υποκεφάλαιο 10.2, αναζητούμε τον βέλτιστο τρόπο με τον οποίο μπορούν να κατανεμηθούν τα κεφάλαια από το πράσινο πακέτο ανάκαμψης της ΕΕ ούτως ώστε να μεγιστοποιηθεί η περαιτέρω μείωση των CO2 εκπομπών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς των τρεχουσών πολιτικών, ενώ ταυτόχρονα να μεγιστοποιηθεί η δημιουργία θέσεων εργασίας στον ενεργειακό τομέα, αρχικά στο κοντινό μέλλον (μέχρι το 2025) και στη συνέχεια μακροπρόθεσμα (μέχρι το 2030).

Και στις δύο περιπτώσεις, παρατηρούμε ένα συμβιβασμό ανάμεσα στη μείωση εκπομπών και την απασχολησιμότητα, όπου χαρτοφυλάκια με υψηλή απόδοση σε επίπεδο δημιουργίας θέσεων εργασίας ήταν υποβέλτιστα στη μείωση εκπομπών, και αντίστροφα. Συγκεκριμένα, όταν κοιτάμε για ευκαιρίες δημιουργίας θέσεων εργασίας στο κοντινό μέλλον, υπολογίζουμε ένα δυναμικό δημιουργίας 766–915 χιλιάδων νέων εργατοετών στον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2025, το οποίο συνοδεύεται από μια μείωση των αθροιστικών εκπομπών της τάξης των 596–748 MtCO2 μέχρι το 2030, όπου και οι δύο τιμές αναφέρονται ως πρόσθετες στην απόδοση του σεναρίου αναφοράς (Εικόνα 10.4α). Λαμβάνοντας υπόψιν το συμβιβασμό ανάμεσα σε εκπομπές και απασχόληση, παρατηρούμε ότι, η μέγιστη (ελάχιστη) απόδοση για δημιουργία νέας απασχολησιμότητας στον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2025 είναι 915 (766) χιλιάδες εργατοέτη, τα οποία αντιστοιχούν σε χαρτοφυλάκια των οποίων οι αντίστοιχες αποδόσεις σε επίπεδο

εκπομπών παρουσιάζουν αντίστροφη εικόνα επιτυγχάνοντας μείωση 596 (748) MtCO2 μέχρι το 2030. Όταν αντίθετα κοιτάμε για ευκαιρίες δημιουργίας θέσεων εργασίας μέχρι το τέλος της δεκαετίας, υπολογίζουμε ένα δυναμικό δημιουργίας 877-1,431 χιλιάδων νέων εργατοετών στον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2030. Σε αυτή την περίπτωση, η προτεραιοποίηση της δημιουργίας θέσεων εργασίας σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα δεν επηρέασε σημαντικά το εύρος μείωσης εκπομπών που επιτυγχάνεται, το οποίο αν και σε αυτή την περίπτωση είναι λίγο μεγαλύτερο (474-766 MtCO2 μέχρι το 2030, βλέπε Εικόνα 10.4β).



(a)

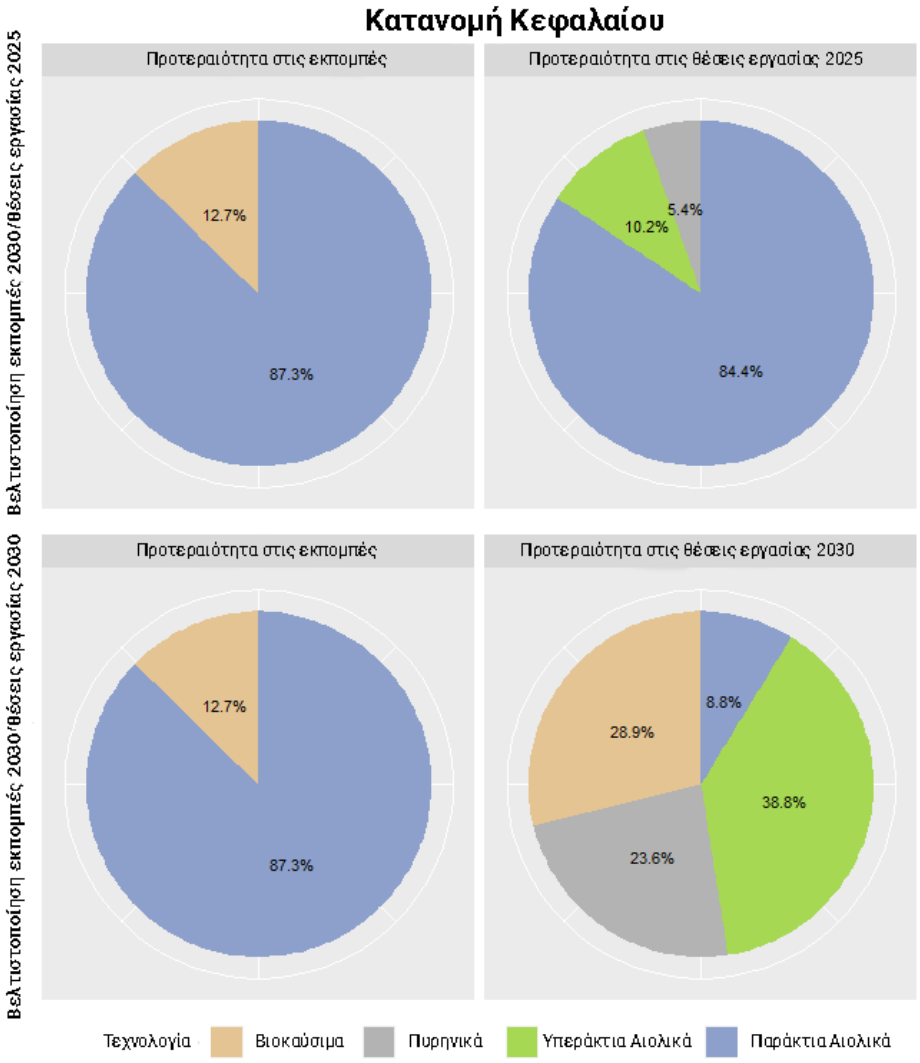


(b)

Εικόνα 10.4. Επίδοση βέλτιστων χαρτοφυλάκων επιδοτήσεων από το πράσινο RRF στην πρόσθετη μείωση εκπομπών (άξονας x) και στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (άξονας y) για (α) βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στις θέσεις εργασίας το 2025; και (β) βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στις θέσεις εργασίας μέχρι το 2030. Το μέγεθος κάθε βούλας υποδηλώνει το βαθμό ευρωστίας απέναντι στις αβεβαιότητες.

Ένα δεύτερο αποτέλεσμα που προκύπτει από την Εικόνα 10.4 είναι ότι για το σχεδιασμό με βάση και τους δύο χρονικούς ορίζοντες (2025 και 2030), τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια που επιτυγχάνουν μέση απόδοση και στις δύο αντικειμενικές είναι λιγότερο επιρρεπή στην αβεβαιότητα συγκριτικά με εκείνα που μεγιστοποιούν την απόδοση σε κάποια από τις δύο. Ομοίως, παρατηρούμε ότι στην δεύτερη περίπτωση—σχεδιασμός με ορίζοντα το τέλος της δεκαετίας για την μεγιστοποίηση των κερδών στις θέσεις εργασίας—τα χαρτοφυλάκια εμφανίζονται με πολύ χαμηλότερο ποσοστό ευρωστίας (<10%).

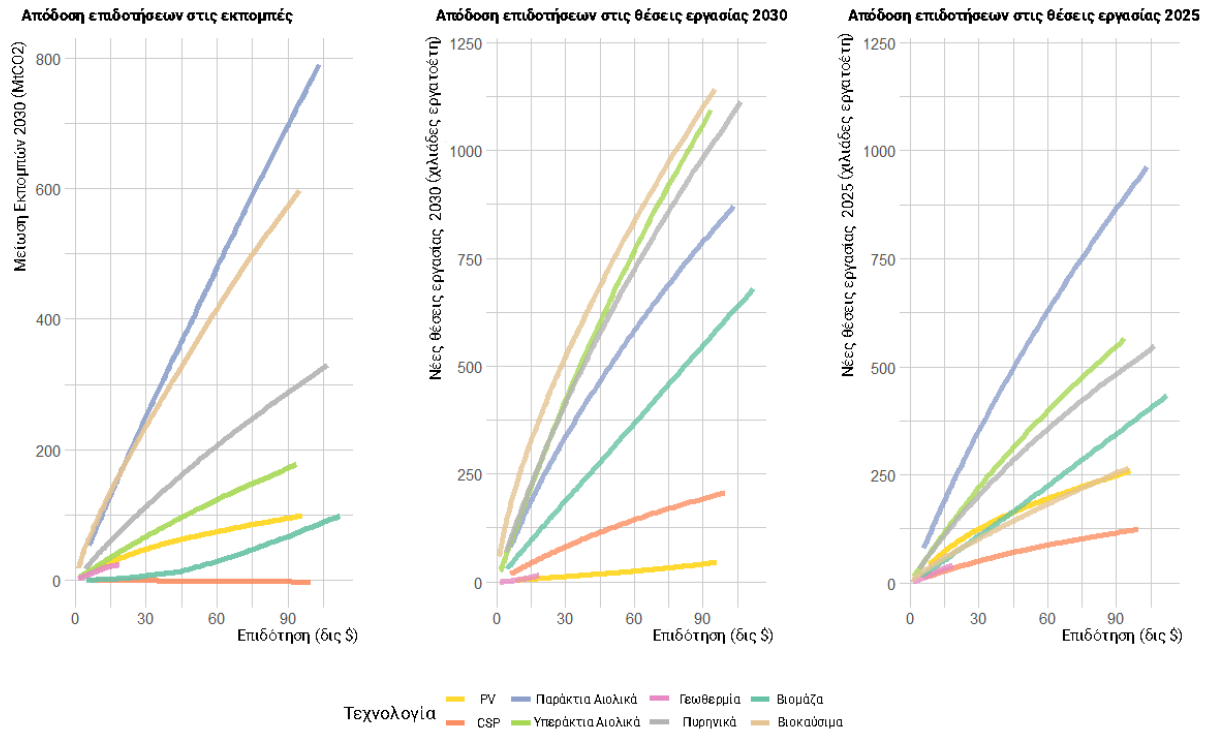
Τρίτον, από τις 8 επιλεγμένες τεχνολογίες, τα περισσότερα χαρτοφυλάκια κυρίως βασίζονται σε επενδύσεις σε χερσαία αιολικά και σε μικρότερο βαθμό σε βιοκαύσιμα; οι δύο αυτές τεχνολογίες συνήθως συνοδεύονταν από μικρότερα ποσά σε παράκτια αιολικά και πυρηνική ενέργεια. Το ακριβές μίγμα επενδύσεων εξαρτάται από τις προτεραιότητες σε επίπεδο πολιτικής εφαρμογής (Εικόνα 10.5). Συγκεκριμένα, το χαρτοφυλάκιο που επιτυγχάνει τη μέγιστη μείωση εκπομπών ήταν ίδιο στο σχεδιασμό και των δύο οριζόντων και αποτελούταν κυρίως από επενδύσεις σε χερσαία αιολικά ($83.8 δισ.) και σε μικρότερο βαθμό σε βιοκαύσιμα ($12 δισ.). Όταν οι προτεραιότητες μετατοπίζονται προς την μεγιστοποίηση της απασχολησιμότητας, τα επιλεγμένα χαρτοφυλάκια διαφέρουν ανάμεσα στα δύο διστοχικά προβλήματα: το χαρτοφυλάκιο που μεγιστοποιεί τις βραχυπρόθεσμες θέσεις, διατηρεί ένα υψηλό ποσοστό επιδοτήσεων σε χερσαία αιολικά της τάξης των $81 δισ. (όπως στο αντίστοιχο χαρτοφυλάκιο για τις εκπομπές), αλλά το υπόλοιπο ποσό κατανεμήθηκε σε επιδοτήσεις σε παράκτια αιολικά ($9.8 δισ.) και πυρηνικά ($5.1 δισ.); αντίθετα, το χαρτοφυλάκιο που μεγιστοποιεί τις μακροπρόθεσμες θέσεις είχε μεγαλύτερη ποικιλομορφία και αποτελούταν από: παράκτια αιολικά ($37.2 δισ.), βιοκαύσιμα ($27.7 δισ.), πυρηνικά ($22.6 δισ.) και χερσαία αιολικά ($8.4 δισ.).



Εικόνα 10.5. Κατανομή των διαθέσιμων κεφαλαίων με βάση τις προτεραιότητες πολιτικής (στήλες) στα δύο διαφορετικά διστοχικά προβλήματα (γραμμές).

Για να γίνουν κατανοητές οι παραπάνω διαφορές, εμβαθύνουμε στις αποδόσεις κάθε μεμονωμένου επιπέδου επιδότησης ανά τεχνολογία στις τρεις αντικειμενικές, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το GCAM (Εικόνα 10.6). Τα χερσαία αιολικά κυριαρχούν σε επίπεδο εκπομπών και δημιουργίας θέσεων εργασίας μέχρι το 2025, και ενώ όταν εστιάζουμε στα κέρδη απασχόλησης μέχρι το 2030 υστερούν, καταφέρνουν να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητα τους έναντι των άλλων τεχνολογιών. Ομοίως, οι επιδοτήσεις σε βιοκαύσιμα βρίσκονται σε κοντινό επίπεδο απόδοσης με τα χερσαία αιολικά στη μείωση εκπομπών και έχουν την καλύτερη απόδοση αν η προτεραιότητα δίνεται στις μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας. Τα παραπάνω αιτιολογούν γιατί οι δύο αυτές τεχνολογίες βρίσκονται συστηματικά εντός των

βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Από την άλλη, τα παράκτια αιολικά και η πυρηνική ενέργεια, έχουν σχεδόν παρόμοια απόδοση στη δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το τέλος της δεκαετίας; συνεπώς, όταν δίνεται προτεραιότητα στις μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας εμφανίζονται χαρτοφυλάκια που μοιράζουν ομοιόμορφα τις επιδοτήσεις σε αυτές τις τεχνολογίες (κάτω-δεξί υποσχήμα, Εικόνα 3). Με δεδομένο τον ανταγωνισμό ανάμεσα στις 3 τεχνολογίες, η ευρωστία στα χαρτοφυλάκια που θέτουν ως προτεραιότητα τις μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας είναι σχετικά χαμηλή καθώς κανένα μίγμα επενδύσεων δεν αναδεικνύεται ως κυρίαρχο (Εικόνα 10.4β). Τα αποτελέσματα του GCAM καταδεικνύουν ότι οι επιδοτήσεις από το RRF στις εναπομείνασες 4 τεχνολογίες (PV, CSP, γεωθερμία και βιομάζα) αποτυγχάνουν να έχουν θετική επίδραση σε οποιαδήποτε από τις αντικειμενικές με αποτέλεσμα να είναι απούσες από την πλειοψηφία των χαρτοφυλακίων. Ειδικά για τα PV, αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα άλλων μελετών που βασίζονται σε ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης και/ή για άλλες μεγάλες οικονομίες που έχουν ανακοινώσει πράσινα πακέτα ανάκαμψης (van de Ven et al., 2022). Στην περίπτωση μας ωστόσο, μια πιθανή εξήγηση της χαμηλής απόδοσης των επιδοτήσεων σε PV βρίσκεται στον κορεσμό για ηλιακή ενέργεια που υπάρχει ήδη από το σενάριο αναφοράς με τις υφιστάμενες πολιτικές (Nikas et al., 2021), όπως επίσης και στην περιορισμένη ικανότητα της ΕΕ να δημιουργήσει θέσεις εργασίας στην παρασκευή, η οποία κυρίως εντοπίζεται στην Κίνα. Αυτοί οι δύο παράγοντες καθιστούν τις επιδοτήσεις σε PV υποβέλιστες τόσο σε επίπεδο περαιτέρω μείωσης εκπομπών όσο και στη δημιουργία θέσεων εργασίας. Ωστόσο το αποτέλεσμα αυτό δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως μια μειωμένη προστιθέμενη αξία της αύξησης των PV στα πλαίσια των πολιτικών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής μέχρι το 2030; αντίθετα αφορά το κατά πόσο αποτελούν βέλτιστη επιλογή για πρόσθετες επενδύσεις συγκριτικά με άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες στα πλαίσια του RRF και πέραν των υφιστάμενων πολιτικών.



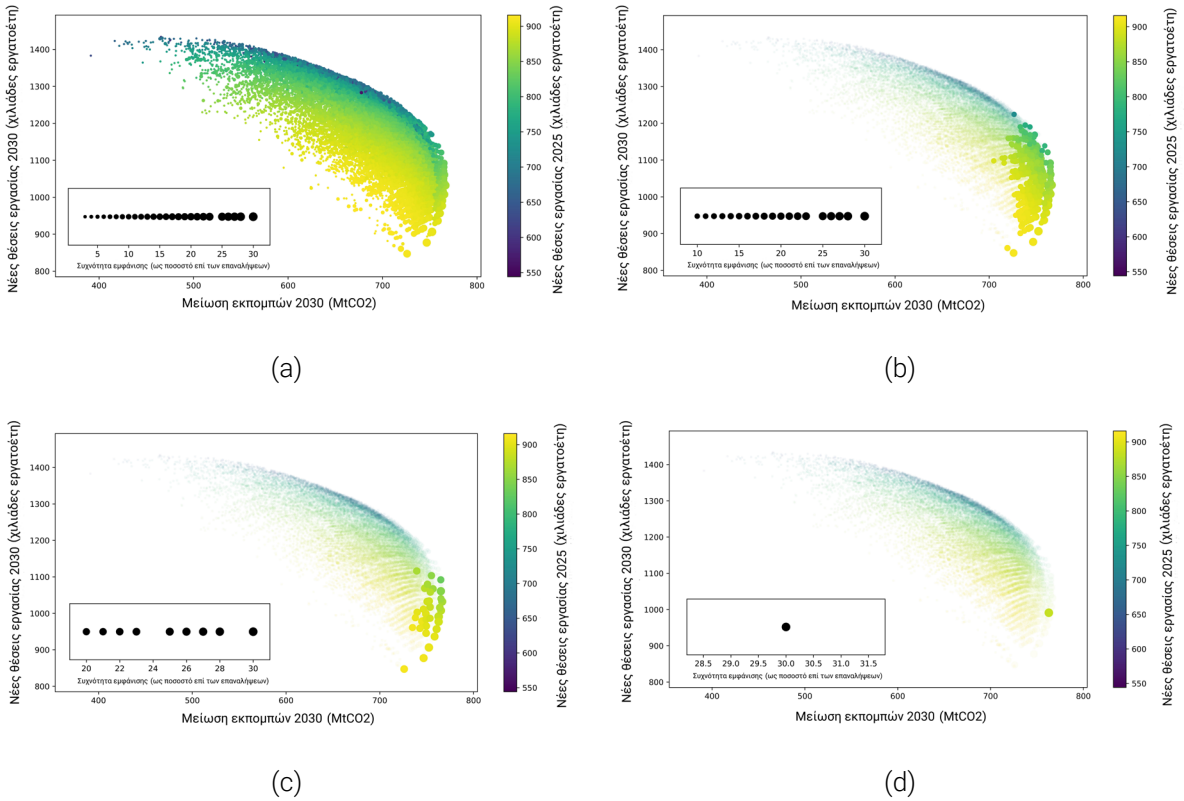
Εικόνα 10.6. Απόδοση των επιδοτήσεων στις 8 τεχνολογίες, αναφορικά με την μείωση εκπομπών (αριστερά), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2030 (κέντρο), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 (δεξιά)

Λαμβάνοντας υπόψιν τις σημαντικές διαφορές στο μίγμα τεχνολογιών όταν μεγιστοποιούνται τα κέρδη απασχολησιμότητας μέχρι το 2030 από αυτά που στοχεύουν στις άλλες δύο αντικειμενικές, βρίσκουμε ότι η σύγκρουση ανάμεσα στο μακροπρόθεσμο έναντι του βραχυπρόθεσμου σχεδιασμού των κερδών της απασχολησιμότητας (καθώς επίσης και ανάμεσα στη μακροπρόθεσμη απασχολησιμότητα και την μείωση εκπομπών) είναι μεγαλύτερη από ότι η σύγκρουση ανάμεσα στη βραχυπρόθεσμη απασχολησιμότητα και την μείωση εκπομπών—όπου και στις δύο αυτές περιπτώσεις κυριαρχούν τα χερσαία αιολικά. Ο συμβιβασμός αυτός μεταξύ βραχυπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου σχεδιασμού των οφελών στην αγορά εργασίας αποτυπώνεται και στη σύνθεση των χαρτοφυλακίων και αφορά το πως κάθε επίπεδο επιδότησης συνεισφέρει πρόσθετα στις υφιστάμενες πολιτικές. Έτσι, όταν προτεραιοποιείται ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός, φαίνεται προτιμότερο να επιδοτούνται τεχνολογίες λιγότερο ώριμες και ανταγωνιστικές οι οποίες δεν θα επιδοτούνταν χωρίς το πακέτο ανάκαμψης; ως εκ τούτου, σε αυτή την περίπτωση τα κέρδη εντοπίζονται μετά το 2025. Αντίθετα, αν δοθεί προτεραιότητα στο βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό με πιο άμεση επιστροφή των κερδών, οι

επενδύσεις πρέπει να εστιάσουν παραπάνω στα χερσαία αιολικά. Η τεχνολογία αυτή ωστόσο είναι ήδη ώριμη και ανταγωνιστική στο περιβάλλον των υφιστάμενων πολιτικών με αποτέλεσμα οποιαδήποτε επιδότηση προς αυτή την τεχνολογία απλά να επιταχύνει την επίτευξη των στόχων των υφιστάμενων πολιτικών. Μια τέτοια στρατηγική έχει το πλεονέκτημα της άμεσης δημιουργίας θέσεων εργασίας αλλά χάνει σύντομα αυτή τη δυναμική μετά το 2025, θυσιάζοντας την πιθανότητα μεγαλύτερων μακροπρόθεσμων κερδών. Δεδομένου του μεγάλου δυναμικού για χερσαία αιολικά στην ΕΕ, καθώς και όρια στην ενσωμάτωση διακοπτόμενης αιολικής ενέργειας στο Ευρωπαϊκό σύστημα, οι θέσεις αυτές που δημιουργήθηκαν σύντομα από τις επιδοτήσεις, θα είχαν δημιουργηθεί ούτως ή άλλως ανεξάρτητα από το πακέτο ανάκαμψης.

Εξαιτίας της παραπάνω δυναμικής, ενισχύουμε την ανάλυση εξερευνώντας αν μπορεί να διαφοροποιηθεί το τεχνολογικό μίγμα επενδύσεων του πράσινου πακέτου ανάκαμψης ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ισορροπία ανάμεσα στο βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό δημιουργίας θέσεων εργασίας, εφόσον επιχειρηθεί η βελτιστοποίηση και των τριών αντικειμενικών ταυτόχρονα (μείωση εκπομπών, δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 και το 2030). Λύνοντας το τριστοχικό αυτή τη φορά πρόβλημα, διαπιστώνουμε ένα παρόμοιο δυναμικό στις τρεις αντικειμενικές όπως με τα διστοχικά προβλήματα. Τα εύρη αυτά υπολογίζονται σε 391-766 MtCO2 μείωση εκπομπών μέχρι 2030, 843-1,433 χιλιάδες εργατοέτη μέχρι το 2030 και 544-915 χιλιάδες εργατοέτη μέχρι το 2025. Η Εικόνα 10.7 παρουσιάζει το χώρο λύσεων για το τριστοχικό πρόβλημα, εστιάζοντας σε όλες τις λύσεις ανεξαρτήτων ευρωστίας (εξαιρώντας όσα εμφανίζονται μόλις σε μία επανάληψη; Εικόνα 5α), σε αυτά με ευρωστία >10% (Εικόνα 10.7β), >20% (Εικόνα 10.7γ), and 30% (Εικόνα 10.7δ) ανάμεσα στις 100 επαναλήψεις της Monte Carlo. Παρόλο που σε επίπεδο εύρους τα προβλήματα παρουσιάζουν κοντινά αποτελέσματα, σε αυτή την περίπτωση ο συμβιβασμός ανάμεσα στη δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το τέλος της δεκαετίας και τις άλλες αντικειμενικές τονίζεται περαιτέρω, καθώς το άνω εύρος του δυναμικού (1.4 εκατομμύρια εργατοέτη μέχρι το 2030) δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να θυσιαστεί η απόδοση στη μείωση εκπομπών και στη δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 (εμφανές από το μπλε εξωτερικό περίβλημα του μετώπου λύσεων στην Εικόνα 10.7α). Επίσης, η εστίαση σε χαρτοφυλάκια που προτεραιοποιούν το μακροπρόθεσμο σχεδιασμό δημιουργίας θέσεων εργασία μειώνει την ευρωστία (Εικόνα 10.7β-δ), όπως παρατηρήθηκε στα διστοχικά προβλήματα. Σε αντίθεση όμως με τα διστοχικά προβλήματα, τώρα είναι εφικτό να επιλεγούν χαρτοφυλάκια με πάνω από 10% ευρωστία (Εικόνα 10.7β), τα

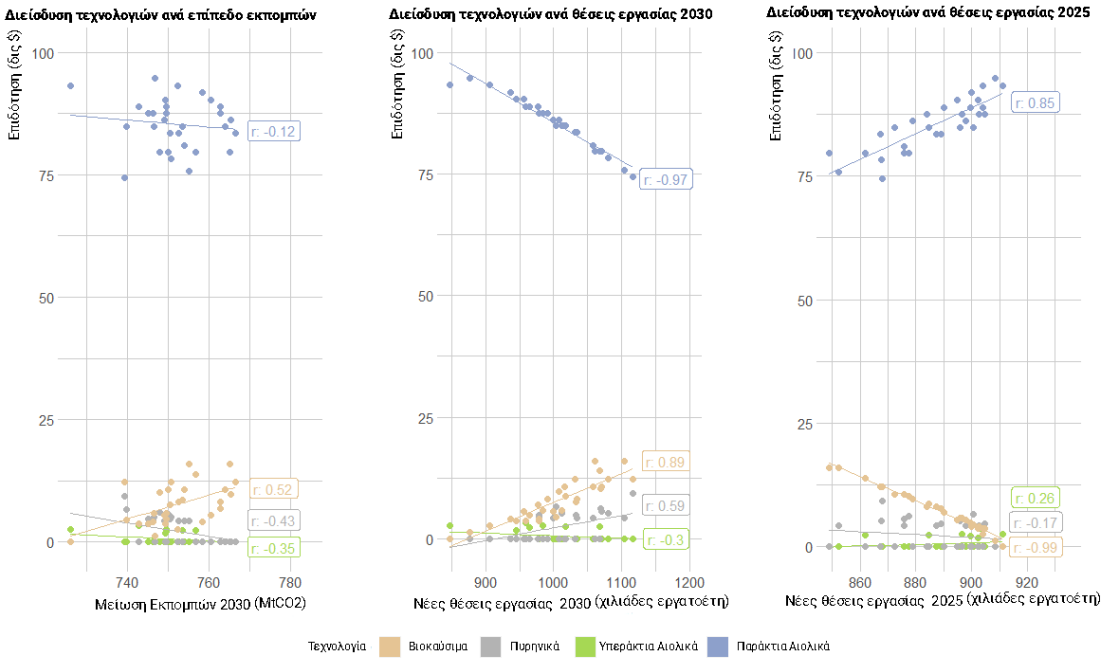
οποία μπορούν να φτάσουν σε κέρδη έως και 1.2 εκατομμύρια εργατοέτη μέχρι το 2030 χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση στις εκπομπές και στις βραχυπρόθεσμες θέσεις εργασίας.



Εικόνα 10.7. Απόδοση βέλτιστων χαρτοφυλακίων επενδύσεων από το πράσινο RRF στη μείωση εκπομπών (οριζόντιος άξονας) όπως επίσης και στη μακροπρόθεσμη (κάθετος άξονας) και βραχυπρόθεσμη (χρωματικός άξονας) αύξηση της απασχολησιμότητας στην ΕΕ, δίνοντας έμφαση στα χαρτοφυλάκια που εμφανίζονται σε πάνω από (α) 1%, (β) 10%, (γ) 20%, και (δ) 30% των επαναλήψεων. Το μέγεθος κάθε βούλας υποδηλώνει το βαθμό ευρωστίας απέναντι στις αβεβαιότητες.

Ανάμεσα στα χαρτοφυλάκια με μεγαλύτερη ευρωστία (>20%, βλέπε Εικόνες 10.7γ-δ) κυριαρχούν οι επιδοτήσεις σε χερσαία αιολικά (σταθερά πάνω από $75 δισ.), τα βιοκαύσιμα (έως $16 δισ.), και σε μικρότερο βαθμό σε πυρηνικά (έως 10$ δισ.) και παράκτια αιολικά (έως $3.3 δισ.). Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να αντλήσουμε προκαταρκτικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες στις οποίες πρέπει να κατανεμηθούν τα κεφάλαια του RRF Ωστόσο, το ακριβές μίγμα επενδύσεων εξαρτάται από τις προτεραιότητες πολιτικής σε επίπεδο στόχων, καθώς έχουμε εντοπίσει 30 πιθανά χαρτοφυλάκια με ευρωστία >20% (Εικόνα 10.8), τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν αποδοτικά αλλά με σχετική απόκλιση στην απόδοση σε κάθε αντικειμενική. Σε

αυτά τα χαρτοφυλάκια, υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για υψηλή θετική συσχέτιση ανάμεσα σε επιδοτήσεις σε χερσαία αιολικά και δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025, και αντίστοιχα ενδείξεις για υψηλή αρνητική συσχέτιση ανάμεσα σε επιδοτήσεις σε χερσαία αιολικά και δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2030. Συγκεκριμένα, για κάθε πρόσθετο $1 δισ. σε επιδοτήσεις χερσαίων αιολικών υπολογίζουμε ότι μπορούν να δημιουργηθούν περίπου 3,000 πρόσθετα εργατοέτη μέχρι το 2025, αλλά την ίδια στιγμή να μειωθεί η δυνατότητα αύξησης της απασχολησιμότητας κατά 12,500 εργατοέτη μέχρι το 2030. Αντίθετα, τα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν τις ανάποδες τάσεις, με κάθε πρόσθετο $1 δισ. επιδοτήσεων να έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει 16,000 πρόσθετα εργατοέτη μέχρι το 2030, μειώνοντας ωστόσο τη δυνατότητα αύξησης της απασχολησιμότητας κατά 5,000 εργατοέτη μέχρι το 2025 και να προκαλέσει πρόσθετη μείωση εκπομπών κατά 4 MtCO2 (τη στιγμή που δεν υπήρχε ένδειξη για συσχέτιση της μείωσης εκπομπών με τις επιδοτήσεις στα αιολικά). Τα μικρά ποσά που επενδύονται σε πυρηνικά και παράκτια αιολικά δεν επιτρέπουν την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με τη συσχέτιση, ωστόσο υπάρχουν ενδείξεις για θετική συσχέτιση επενδύσεων σε πυρηνικά και τη μακροπρόθεσμη απασχολησιμότητα έως το 2030.

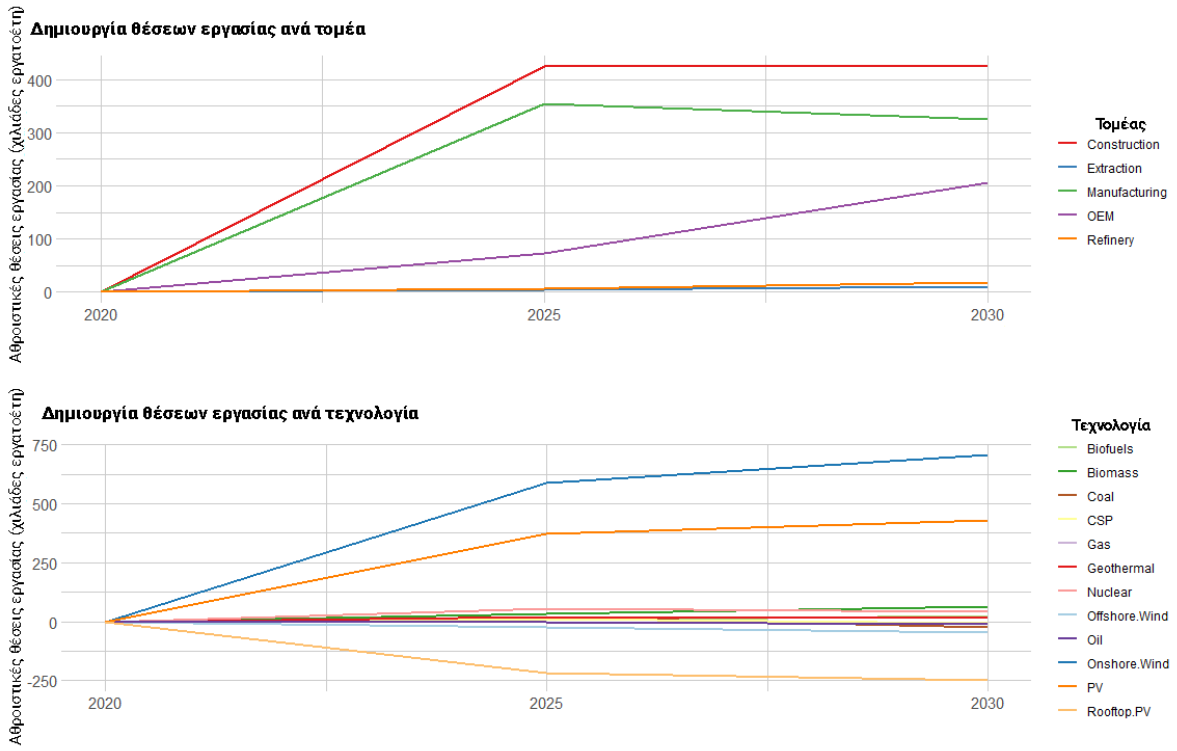


Εικόνα 10.8. Συμμετοχή κάθε τεχνολογίας στα πιο εύρωστα χαρτοφυλάκια (>20%) με βάση την απόδοση τους στη μείωση εκπομπών (αριστερά), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2030 (κέντρο), δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 (δεξιά)

Από τα παραπάνω χαρτοφυλάκια, μόλις ένα παρουσίασε επίπεδο ευρωστίας στο 30%, το οποίο αποτελούταν κυρίως από επενδύσεις αποκλειστικά σε χερσαία αιολικά ($87.5 δισ.) και βιοκαύσιμα ($8.2 δισ.), το οποίο είναι πολύ κοντά στο χαρτοφυλάκιο που προέκυψε από τα διστοχικά προβλήματα όταν δόθηκε προτεραιότητα στη μείωση εκπομπών (Εικόνα 10.5). Αυτό δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο αποτελεί την βέλτιστη επιλογή για τους φορείς χάραξης πολιτικής, καθώς η ευρωστία δεν είναι παρά ένα πρόσθετο κριτήριο στη διαδικασία απόφασης, με αποτέλεσμα η τελική επιλογή να αποτυπώνει διαφορετικές προτεραιότητες. Το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο έχει τη δυνατότητα να μειώσει κατά 763 MtCO2 τις εκπομπές πρόσθετα στη μείωση που αναμένεται από την εφαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών, καθώς επίσης να δημιουργήσει 883 και 991 χιλιάδες εργατοέτη στον ενεργειακό τομέα για το 2025 και το 2030 αντίστοιχα. Είναι εμφανές πως όταν επιχειρείται βελτιστοποίηση και των τριών αντικειμενικών δίνοντας ταυτόχρονη έμφαση στην ευρωστία, βρίσκουμε ότι το να θυσιαστούν βραχυπρόθεσμες ευκαιρίες δημιουργίας πρόσθετης απασχολησιμότητας παρουσιάσει μεγαλύτερο κόστος από το να θυσιαστούν ευκαιρίες με βάση ένα πιο μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, ο οποίος μάλιστα εμφανίζεται και ως πιο αβέβαιος. Ακόμα και έτσι ωστόσο, η πρόσθετη δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης μέχρι το 2030 παραμένει μεγαλύτερη από το κάτω άκρο του πιθανού εύρους που υπολογίστηκε (Εικόνα 10.4β), παραμένοντας μάλιστα πάνω από την αντίστοιχη δημιουργία θέσεων σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο, κάτι που καταδεικνύει τη δυναμική για συνεχή (έστω και πιο αργή) απόδοση των κεφαλαίων που θα αξιοποιηθούν για την πράσινη ανάκαμψη. Στην προ πανδημίας μελέτη τους, οι Malik et al. (2021) είχαν δείξει ότι πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν τα επίπεδα απασχόλησης στον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2025, ένα φαινόμενο που όμως θα ακολουθούταν από μια ανάποδη τάση από το 2025 και μετά. Εδώ, εμείς δείχνουμε ότι με την αξιοποίηση μιας καινοτόμου μεθοδολογίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό της κατανομής των κεφαλαίων ανάκαμψης στην ΕΕ με γνώμονα την διασύνδεση της επίτευξης κλιματικών στόχων και της μακροπρόθεσμης και βραχυπρόθεσμης δημιουργίας θέσεων εργασίας, η προ πανδημίας εκτιμώμενη αύξηση της ανεργίας μπορεί να περιοριστεί, τουλάχιστον μέχρι το τέλος της δεκαετίας.

Αναφορικά με την κατανομή των νέων θέσεων εργασίας ανά τομέα και τεχνολογία/καύσιμο (Εικόνα 10.9), παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα οφέλη εντοπίζονται αναμενόμενα μέχρι το 2025 και αφορούν κυρίως θέσεις που σχετίζονται με τα χερσαία αιολικά (που λαμβάνουν και την υψηλότερη χρηματοδότηση). Μετά το 2025, η αύξηση στους τομείς αυτούς δείχνει σημάδια

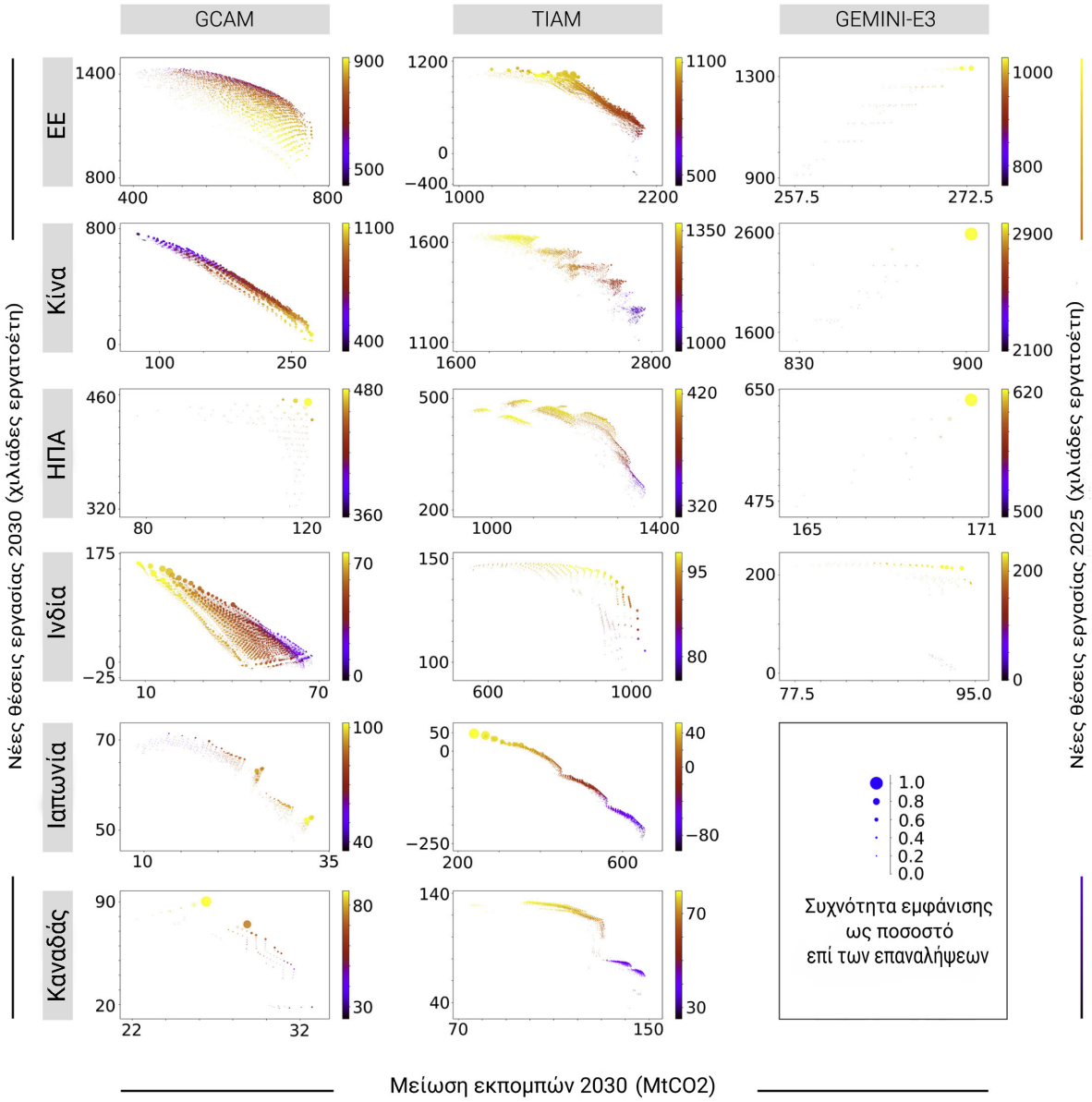
μείωσης, με το θετικό πρόσημο στις συνολικές θέσεις εργασίας να παρατηρείται εξαιτίας της δημιουργίας θέσεων στα τελικά στάδια των έργων και κυρίως στη λειτουργία και διοίκηση. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η συνεχής πολιτική υποστήριξη (συμπεριλαμβανομένης για παράδειγμα της εκπαίδευσης και επανεκπαίδευσης τους εργατικού δυναμικού) ακόμα και μετά το πέρας του μηχανισμού RRF ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι θέσεις που θα δημιουργηθούν δεν θα χαθούν μετά το 2025. Επίσης παρατηρούμε μια σημαντική αύξηση των θέσεων εργασίας σε PV μεγάλης κλίμακας εντός της ΕΕ, παρά την απουσία επιδοτήσεων. Από την άλλη, οι απώλειες σε PV στέγης καταδεικνύουν εσωτερικές μετατοπίσεις στην ηλιακή αγορά, ως αποτέλεσμα των μεγάλων επιδοτήσεων σε χερσαία αιολικά: οι επιδοτήσεις αυτές μειώνουν την τιμή του ηλεκτρισμού, οδηγώντας σε αύξηση της ζήτησης το οποίο με τη σειρά του μειώνει τα κίνητρα για διεσπαρμένη παραγωγή στο GCAM. Παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα σε επίπεδο δημιουργίας θέσεων εργασίας στις ηλιακές τεχνολογίες παραμένει θετικό στο σύνολο του. Συνεπώς, η συσχέτιση των PV στέγης και των μετασχηματισμών από την πλευρά της ζήτησης, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου τους για την ενεργειακή δημοκρατία και την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας (Rodríguez et al., 2018), πρέπει να ληφθεί αυστηρά υπόψιν ώστε ο σχεδιασμός της μετάβασης και χρήσης των κεφαλαίων ανάκαμψης από την πλευρά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να μην έρχεται σε σύγκρουση με άλλα τμήματα του RRF που αφορούν την πλευρά της ζήτησης (π.χ. εξοικονόμηση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον).



Εικόνα 10.9. Κατανομή των νέων θέσεων εργασίας ανά τομέα (πάνω) και ανά τεχνολογία/καύσιμο (κάτω) στο χαρτοφυλάκιο με τη μεγαλύτερη ευρωστία (30%)

Παρά τη διοχέτευση επενδύσεων προς χερσαία αιολικά και βιοκαύσιμα στο πιο εύρωστο χαρτοφυλάκιο, οι επιδοτήσεις μπορεί να έχουν ευρύτερες επιπτώσεις για τον ενεργειακό τομέα, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της χρήσης ΑΠΕ πέραν αυτών που λαμβάνουν χρηματοδότηση, όπως φαίνεται από την αύξηση της απασχολησιμότητας για τα PV: υπολογίζουμε ότι το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο μπορεί να επιτύχει την ενσωμάτωση 108GW πρόσθετης εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ μέχρι το 2030 πρόσθετα στις υφιστάμενες πολιτικές. Μια τέτοια επίδοση ωστόσο απέχει από τον στόχο 200GW πρόσθετης εγκατεστημένης ισχύος όπως ορίζει το RRF. Αυτή η αναντιστοιχία επιβεβαιώνεται αν τροφοδοτήσουμε πίσω στο GCAM 5 ενδεικτικά χαρτοφυλάκια (τα 3 χαρτοφυλάκια της Εικόνας 10.5 και τους σταθμισμένους με βάση την ευρωστία όρους των χαρτοφυλακίων των Εικόνων 10.7α και 10.7γ), υπολογίζοντας ότι αυτά θα αποδώσουν 49-118GW πρόσθετης εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ μέχρι το 2030, ανάλογα με το τεχνολογικό μίγμα και τις επιδοτήσεις σε κάθε ένα από αυτά. Τα εθνικά πλάνα ανάκαμψης των κρατών-μελών πρέπει να λάβουν υπόψιν αυτή την απόκλιση όταν σχεδιάζουν την υλοποίηση τους, επιδιώκοντας την εύρεση πρόσθετων κεφαλαίων (π.χ. από τον ιδιωτικό τομέα) ώστε να μειώσουν αυτό το κενό.

Παρά το κενό αυτό, και για να τοποθετήσουμε τα παραπάνω αποτελέσματα σε ένα ευρύτερο παγκόσμιο πλαίσιο για την πράσινη μετάβαση από την πανδημία της COVID-19 (van de Ven et al., 2022), το RRF αναμένεται να έχει μια από τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε επίπεδο μείωσης εκπομπών και δημιουργίας θέσεων εργασίας συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα ανακοινωθέντα/υπό υλοποίηση πράσινα πακέτα ανάκαμψης (Εικόνα 10.10).



Εικόνα 10.10. Ανάλυση και βελτιστοποίηση πακέτων ανάκαμψης από την COVID-19 με τη χρήση πολλαπλών μοντέλων, και εκτίμηση της επίδρασης αν διοχετεύονταν σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας.

10.4 Συμπεράσματα

Το RRF είναι ένας βασικός οικονομικός μηχανισμός της ΕΕ που έχει ως στόχο να περιορίσει ή και να εξαλείψει τις αρνητικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από την πανδημία της COVID-19, πιέζοντας ταυτόχρονα για την υλοποίηση της πράσινης μετάβασης. Τουλάχιστον 37% επί του συνολικού κεφαλαίου το οποίο είναι διαθέσιμο στα κράτη-μέλη θα πρέπει να αποτελείται από πράσινες επενδύσεις, που αναμένεται να διατεθούν για την υποστήριξη επενδύσεων έργων καθαρής ενέργειας με γνώμονα την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Με την αγορά εργασίας να έχει δεχτεί ισχυρό πλήγμα από την πανδημία, και κυρίως στον ενεργειακό τομέα, όπου η κρίση προστέθηκε στις ήδη υπάρχουσες πιέσεις εξαιτίας των ανακατανομών λόγω των προσπαθειών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, γεννήθηκαν βασικά ερωτήματα αναφορικά με τους συμβιβασμούς ανάμεσα σε κοινωνικοοικονομικές και κλιματικές επιπτώσεις, και τη συνεισφορά της Ευρωπαϊκής πράσινης ανάκαμψης στην αύξηση των θέσεων εργασίας στον ενεργειακό τομέα αλλά και τη μείωση εκπομπών, όπως επίσης τη βέλτιστη κατανομή των κεφαλαίων για να μεγιστοποιηθούν οι παραπάνω στόχοι. Για να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα και να καθοδηγηθούν οι φορείς χάραξης πολιτικής στην ΕΕ στο σχεδιασμό και υλοποίηση τον πλάνων ανάκαμψης και ανθεκτικότητας, η μελέτη αυτή εφαρμόζει μια πολυσταδιακή μεθοδολογία με χρήση ενός ολοκληρωμένου μοντέλου αποτίμησης και ενός μοντέλου ανάλυσης χαρτοφυλακίου. Εμβαθύνοντας στο πακέτο ανάκαμψης της ΕΕ (κα του ΗΒ), επιλέγουμε ένα κεφάλαιο €80 δισ. το οποίο αναμένεται να κατευθυνθεί προς έργα καθαρής ενέργειας, με υψηλή ανταγωνιστικότητα για την απορρόφηση των κεφαλαίων. Το ολοκληρωμένο μοντέλο αποτίμησης GCAM χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν 800 σενάρια ανάκαμψης με διαφορετικά επίπεδα επιδότησης ανά τεχνολογία (100 επίπεδα επιδότησης για κάθε μια από τις 8 τεχνολογίες που επιλέχθηκαν) τα οποία εφαρμόστηκαν πρόσθετα σε ένα σενάριο αναφοράς στο οποίο υλοποιούνται οι υφιστάμενες πολιτικές. Αφού μεταφράσουμε τα αποτελέσματα του GCAM για το ενεργειακό σύστημα ως προς την επίδραση στην απασχολησιμότητα με χρήση κατάλληλων συντελεστών από τη βιβλιογραφία, η μεθοδολογία AUGMECON-R για ανάλυση χαρτοφυλακίου χρησιμοποιήθηκε για να επιλυθούν τρία μοντέλα βελτιστοποίησης για μεγιστοποίηση της μείωσης εκπομπών μέχρι το 2030, και των ευκαιριών δημιουργίας θέσεων εργασίας βραχυπρόθεσμα μέχρι το 2025 και μακροπρόθεσμα μέχρι το 2030 στον ενεργειακό τομέα. Η ανάλυση χαρτοφυλακίου συνοδεύεται από ανάλυση στοχαστικής αβεβαιότητας μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo για να υπολογισθεί η ευρωστία των χαρτοφυλακίων.

Πρώτον, διαπιστώνουμε έναν συμβιβασμό ανάμεσα στις τρεις αντικειμενικές, φανερώνοντας τη συγκρουσιακή σχέση ανάμεσα σε έργα τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, όπως επίσης και την πρόκληση να μεγιστοποιηθούν τα δυναμικά αύξησης της απασχολησιμότητας και της μείωσης των CO2 εκπομπών. Ο συμβιβασμός αυτός είναι εμφανής στα δυναμικά απόδοσης του πράσινου RRF πακέτου, που επιτυγχάνει περίπου μείωση 400-770 MtCO2 εκπομπές μέχρι το 2030 και τη δημιουργία 550-915 και 850-1,450 χιλιάδων εργατοετών στον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2025 και 2030 αντίστοιχα, και πρόσθετα στις υφιστάμενες πολιτικές. Δεύτερον, δείχνουμε ότι η μεγιστοποίηση του κέρδους ως προς τις νέες θέσεις εργασίας μέχρι το 2030 αποτελεί τη δυσκολότερη πρόκληση, καθώς μια τέτοια μεγιστοποίηση υποβάθμιζε τα κέρδη ως προς τις νέες θέσεις εργασίας μέχρι το 2025 αλλά και τη μείωση εκπομπών. Συγκεκριμένα, στο πιο εύρωστο χαρτοφυλάκιο, επιτυγχάνοντας τα δύο τρίτα του μέγιστου δυναμικού νέων θέσεων έως το 2030 επέτρεπε την μεγιστοποίηση των υπόλοιπων δύο αντικειμενικών; Αντίθετα ένας καθαρά μακροπρόθεσμος σχεδιασμός φάνηκε να μην είναι σε σύμπνοια ούτε με τους κλιματικούς στόχους ούτε με το βασικό στόχο του RRF που είναι η όσο γίνεται πιο σύντομη αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων. Τρίτον, βρίσκουμε ότι η απόδοση των πλάνων ανάκαμψης θα ωφεληθεί αν τα κεφάλαια εστιαστούν σε συγκεκριμένες τεχνολογίες, με ένα μεγάλο μέρος να κατευθύνεται προς χερσαία αιολικά και στη συνέχεια βιοκαύσιμα, και ένα μικρότερο μέρος σε πυρηνικά και παράκτια αιολικά.

Το ακριβές μίγμα επενδύσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις πολιτικές προτεραιότητες: μεγαλύτερες επενδύσεις σε χερσαία αιολικά αποδίδουν καλύτερα στη μείωση εκπομπών και στη δημιουργία βραχυπρόθεσμων θέσεων εργασίας, ενώ η μετακίνηση κεφαλαίων προς τις άλλες τρεις τεχνολογίες (βιοκαύσιμα, πυρηνικά και παράκτια αιολικά) μπορεί να είναι επωφελής για τη δημιουργία θέσεων εργασίας μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Σε γενικές γραμμές, επενδύσεις σε τεχνολογίες που είναι ήδη ανταγωνιστικές (όπως τα χερσαία αιολικά) μπορούν να δημιουργήσουν το μέγιστο αριθμό θέσεων εργασίας μέχρι το 2025 αλλά σύντομα χάνουν αυτή την τάση, οδηγώντας σε περιορισμένα πρόσθετα κέρδη μετά το 2025. Αυτό συμβαίνει διότι τέτοιες επενδύσεις απλά επιταχύνουν την υλοποίηση των υφιστάμενων πολιτικών κάτι που θα συνέβαινε ούτως η άλλως μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Αντίθετα, η προτεραιοποίηση τεχνολογιών που δεν είναι ακόμα ανταγωνιστικές (όπως τα παράκτια αιολικά και τα προηγμένα βιοκαύσιμα) μπορούν να εκμεταλλευτούν την ευκαιρία που δίνεται από το πακέτο ανάκαμψης που θα βελτιώσει την ωριμότητα τους, και θα διαφοροποιήσει την τρέχουσα κατεύθυνση της μετάβασης και την ποικιλία των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών με θετική

επίδραση στο μακροπρόθεσμο μέλλον και τη δημιουργία πιο εύκολα διατηρήσιμων θέσεων εργασίας. Αυτοί οι συμβιβασμοί με τις υφιστάμενες πολιτικές αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της μελέτης. Για παράδειγμα, τα PV εμφανίστηκαν ως λιγότερο προσιτή επένδυση για χρηματοδότηση από το RRF, εξαιτίας της υψηλής τους παρουσίας στις υφιστάμενες πολιτικές; ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν πρέπει να στηριχθούν συνολικά εντός της δεκαετίας, αλλά ότι οι προσπάθειες πολιτικής θα πρέπει να είναι εναρμονισμένες με τους στόχους που έχουν τεθεί και περιλαμβάνουν υψηλή συμμετοχή PV και να συμπληρωθούν από τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια που εντοπίστηκαν σε αυτή την άσκηση.

Τέλος, αν και ένας από τους στόχους του RRF είναι η προσθήκη 200GW εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ μέχρι το 2030, υπολογίζουμε ότι μόλις η μισή ισχύς μπορεί να καλυφθεί με βάση το επιλεγμένο κεφάλαιο, αν πρέπει να ληφθούν υπόψιν και επιδράσεις στην αγορά εργασίας. Για να μειωθεί αυτό το κενό, μπορούν να επιλεγούν διαφορετικές προτεραιότητες, και να αναζητηθεί πρόσθετη χρηματοδότηση, καθώς είναι πιθανό οι δυνατότητες αύξησης του ποσοστού του RRF για περαιτέρω επιδότηση καθαρών μορφών παραγωγής ενέργειας να είναι περιορισμένες δεδομένου ότι πρόκειται για ένα μηχανισμό με πολλαπλούς και ετερογενείς στόχους.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 10

Alves Dias, P., Kanellopoulos, K., Medarac, H., Kapetaki, Z., Miranda-Barbosa, E., Shortall, R., ... & Tzimas, E. (2018). EU coal regions: opportunities and challenges ahead. European Union: Luxembourg. Retrieved from: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/eu-coal-regions-opportunities-and-challenges-ahead

Baran, J., Szpor, A., & Witajewski-Baltvilks, J. (2020). Low-carbon transition in a coal-producing country: A labour market perspective. Energy Policy, 147, 111878.

Calvin, K., Patel, P., Clarke, L., Asrar, G., Bond-Lamberty, B., Cui, R. Y., ... & Wise, M. (2019). GCAM v5. 1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. *Geoscientific Model Development, 12*(2), 677-698.

Claeys, G., Tagliapietra, S., & Zachmann, G. (2019). How to make the European Green Deal work. Bruegel Policy Contribution, 13. Retrieved from: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2019/11/PC-14_2019-041119.pdf

D'Alessandro, S., Cieplinski, A., Distefano, T., & Dittmer, K. (2020). Feasible alternatives to green growth. Nature Sustainability, 3(4), 329-335.

Dafnomilis, I., den Elzen, M., van Soest, H., Hans, F., Kuramochi, T., & Höhne, N. (2020). Exploring the impact of the COVID-19 pandemic on global emission projections. PBL Netherlands Environmental Agency.

Den Elzen, M. G., Dafnomilis, I., Forsell, N., Fragkos, P., Fragkiadakis, K., Höhne, N., … & Sperling, F. (2022). Updated nationally determined contributions collectively raise ambition levels but need strengthening further to keep Paris goals within reach. Mitigation and adaptation strategies for global change, 27(6), 1-29.

Distelkamp, M., & Meyer, M. (2019). Pathways to a resource-efficient and low-carbon Europe. Ecological economics, 155, 88-104.

Ellenbeck, S., & Lilliestam, J. (2019). How modelers construct energy costs: discursive elements in energy system and integrated assessment models. Energy Research & Social Science, 47, 69-77.

Ernst & Young. (2020). A green COVID-19 recovery and resilience plan for Europe. Retrieved from: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/es_es/news/2020/09/ey-summary-report-green-recovery.pdf

European Commission. (2020a). Recovery plan for Europe. Retrieved from: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en

European Commission. (2020b). Commission Staff Working Document: Guidance to Member States Recovery and Resilience Plans. Retrieved from: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/3_en_document_travail_service_part1_v3_en_0.pdf

European Commission. (2021). Annual Sustainable Growth Strategy 2021. https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/annual-sustainable-growth-strategy-2021

Eurostat. (2020). Impact of COVID-19 on employment income - advanced estimates. Retrieved from: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Impact_of_COVID-19_on_employment_income_-_advanced_estimates&stable=1#cite_note-1

Eurostat. (2022). Society And Work. Retrieved from: https://ec.europa.eu/eurostat/web/covid-19/society-work

Fauci, A. S., Lane, H. C., & Redfield, R. R. (2020). Covid-19—navigating the uncharted. The New England Journal of Medicine, 382, 1268-1269.

Forouli, A., Doukas, H., Nikas, A., Sampedro, J., & Van de Ven, D. J. (2019). Identifying optimal technological portfolios for European power generation towards climate change mitigation: a robust portfolio analysis approach. Utilities Policy, 57, 33-42.

Forouli, A., Nikas, A., Van de Ven, D. J., Sampedro, J., & Doukas, H. (2020). A multiple-uncertainty analysis framework for integrated assessment modelling of several sustainable development goals. Environmental Modelling & Software, 131, 104795.

Fragkos, P., & Fragkiadakis, K. (2022). Analysing the macro-economic and employment implications of ambitious mitigation pathways and carbon pricing. Frontiers in Climate, 66.

Fragkos, P., & Paroussos, L. (2018). Employment creation in EU related to renewables expansion. Applied Energy, 230, 935-945.

Fragkos, P., Fragkiadakis, K., Paroussos, L., Pierfederici, R., Vishwanathan, S. S., Köberle, A. C., ... & Oshiro, K. (2018). Coupling national and global models to explore policy impacts of NDCs. Energy Policy, 118, 462-473.

Fragkos, P., Fragkiadakis, K., Sovacool, B., Paroussos, L., Vrontisi, Z., & Charalampidis, I. (2021). Equity implications of climate policy: Assessing the social and distributional impacts of emission reduction targets in the European Union. Energy, 237, 121591.

Fujimori, S., Hasegawa, T., Takahashi, K., Dai, H., Liu, J. Y., Ohashi, H., ... & Hijioka, Y. (2020). Measuring the sustainable development implications of climate change mitigation. Environmental Research Letters, 15(8), 085004.

García-García, P., Carpintero, Ó., & Buendía, L. (2020). Just energy transitions to low carbon economies: A review of the concept and its effects on labour and income. Energy Research & Social Science, 70, 101664.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. Research policy, 36(3), 399-417.

Giarola, S., Mittal, S., Vielle, M., Perdana, S., Campagnolo, L., Delpiazzo, E., ... & van de Ven, D. J. (2021). Challenges in the harmonisation of global integrated assessment models: a comprehensive methodology to reduce model response heterogeneity. Science of the Total Environment, 783, 146861.

HM Government. (2020). The ten point plan for a green industrial revolution. Retrieved from: https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution

IEA. (2019). Data and statistics. Retrieved from: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=EU28

IMF. (2021). World Economic Outlook: Recovery During a Pandemic Health Concerns, Supply Disruptions, and Price Pressures. Retrieved from: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021

IRENA. (2020). The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality. Retrieved from: https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery

Jäger-Waldau, A., Kougias, I., Taylor, N., & Thiel, C. (2020). How photovoltaics can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 126, 109836.

Joshi, S., & Mukhopadhyay, K. (2022). Cleaner the better: Macro-economic assessment of ambitious decarbonisation pathways across Indian states. Renewable and Sustainable Energy Transition, 2, 100027.

Ju, Y., Sugiyama, M., Kato, E., Oshiro, K., & Wang, J. (2022). Job creation in response to Japan's energy transition towards deep mitigation: An extension of partial equilibrium integrated assessment models. Applied Energy, 318, 119178.

Keramidas, K., Fosse, F., Diaz-Vazquez, A., Schade, B., Tchung-Ming, S., Weitzel, M., ... & Wojtowicz, K. (2021). Global Energy and Climate Outlook 2020: A New Normal Beyond Covid-19. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Kikstra, J. S., Vinca, A., Lovat, F., Boza-Kiss, B., van Ruijven, B., Wilson, C., ... & Riahi, K. (2021). Climate mitigation scenarios with persistent COVID-19-related energy demand changes. Nature Energy, 6(12), 1114-1123.

Kivimaa, P., Laakso, S., Lonkila, A., & Kaljonen, M. (2021). Moving beyond disruptive innovation: A review of disruption in sustainability transitions. Environmental Innovation and Societal Transitions, 38, 110-126.

Lahcen, B., Brusselaers, J., Vrancken, K., Dams, Y., Paes, C. D. S., Eyckmans, J., & Rousseau, S. (2020). Green recovery policies for the COVID-19 crisis: modelling the Impact on the economy and greenhouse gas emissions. Environmental and Resource Economics, 76(4), 731-750.

Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J., Abernethy, S., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO 2 emissions during the COVID-19 forced confinement. Nature Climate Change, 1-7.

Malik, A., & Bertram, C. (2022). Solar energy as an early just transition opportunity for coal-bearing states in India. Environmental Research Letters, in press.

Malik, A., Bertram, C., Kriegler, E., & Luderer, G. (2021). Climate policy accelerates structural changes in energy employment. Energy Policy, 159, 112642.

Manzanedo, R. D., & Manning, P. (2020). COVID-19: Lessons for the climate change emergency. Science of the Total Environment, 742, 140563.

Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., ... & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. International journal of surgery, 78, 185.

Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., Koasidis, K., Doukas, H., Cassetti, G., ... & Chiodi, A. (2021a). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. Science of The Total Environment, 148549.

Nikas, A., Fountoulakis, A., Forouli, A., & Doukas, H. (2020). A robust augmented ε-constraint method (AUGMECON-R) for finding exact solutions of multi-objective linear programming problems. Operational Research, 1-42.

Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., Koasidis, K., Lund, H., Thellufsen, J. Z., ... & Doukas, H. (2021b). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. Energy, 215, 119153.

Nikas, A., Koasidis, K., Köberle, A. C., Kourtesi, G., & Doukas, H. (2022). A comparative study of biodiesel in Brazil and Argentina: An integrated systems of innovation perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 156, 112022.

Pai, S., Emmerling, J., Drouet, L., Zerriffi, H., & Jewell, J. (2021). Meeting well-below 2 C target would increase energy sector jobs globally. One Earth, 4(7), 1026-1036.

Pfenninger, S., DeCarolis, J., Hirth, L., Quoilin, S., & Staffell, I. (2017). The importance of open data and software: Is energy research lagging behind?. Energy Policy, 101, 211-215.

Pollitt, H., Lewney, R., Kiss-Dobronyi, B., & Lin, X. (2021). Modelling the economic effects of COVID-19 and possible green recovery plans: a post-Keynesian approach. Climate Policy, 21(10), 1257-1271.

Ram, M., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2020). Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119682.

Rochedo, P. R., Fragkos, P., Garaffa, R., Couto, L. C., Baptista, L. B., Cunha, B. S., ... & Szklo, A. (2021). Is green recovery enough? Analysing the impacts of post-COVID-19 economic packages. Energies, 14(17), 5567.

Rodríguez, L. R., Ramos, J. S., Delgado, M. G., Félix, J. L. M., & Domínguez, S. Á. (2018). Mitigating energy poverty: Potential contributions of combining PV and building thermal mass storage in low-income households. Energy Conversion and Management, 173, 65-80.

Rutovitz, J., Dominish, E., & Downes, J. (2015). Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology.

Saadat, S., Rawtani, D., & Hussain, C. M. (2020). Environmental perspective of COVID-19. Science of The Total Environment, 138870.

Shan, Y., Ou, J., Wang, D., Zeng, Z., Zhang, S., Guan, D., & Hubacek, K. (2021). Impacts of COVID-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement. Nature Climate Change, 11(3), 200-206.

Sognnaes, I., Gambhir, A., van de Ven, D. J., Nikas, A., Anger-Kraavi, A., Bui, H., ... & Peters, G. P. (2021). A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. Nature Climate Change, 11(12), 1055-1062.

Spijker, E., Anger-Kraavi, A., Pollitt, H., & van de Ven, D. J. (2020). Evaluating integrated impacts of low-emission transitions in the livestock sector. Environmental Innovation and Societal Transitions, 35, 482-492.

Tamba, M., Krause, J., Weitzel, M., Ioan, R., Duboz, L., Grosso, M., & Vandyck, T. (2022). Economy-wide impacts of road transport electrification in the EU. Technological forecasting and social change, 182, 121803.

Tollefson, J. (2020). Why deforestation and extinctions make pandemics more likely. Nature, 584(7820), 175-176.

Van de Ven, D. J., Nikas, A., Koasidis, K., Forouli, A., Cassetti, G., Chiodi, A., ... & Gambhir, A. (2022). COVID-19 recovery packages can benefit climate targets and clean energy jobs, but scale of impacts and optimal investment portfolios differ among major economies. One Earth, 5(9), 1042-1054.

World Nuclear Association. (2019). World Uranium Mining Production. Retrieved from: https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx

Zhang, X., Cui, X., Li, B., Hidalgo-Gonzalez, P., Kammen, D. M., Zou, J., & Wang, K. (2022). Immediate actions on coal phaseout enable a just low-carbon transition in China's power sector. Applied Energy, 308, 118401.

Κεφάλαιο 11. Κινητροποιώντας την υιοθέτηση ενεργειακά βιώσιμων συμπεριφορών σε ελληνικά νοικοκυριά έναντι της ενεργειακής κρίσης

11.1 Εισαγωγή

Για την επίτευξη του επικαιροποιημένου στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από 40% σε 55% (Jäger-Waldau et al., 2020) στην ΕΕ έως το 2030, αναμένεται να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο αστικό περιβάλλον και ειδικότερα στον οικιακό τομέα, για τρεις κυρίως λόγους. Πρώτον, σε αντίθεση με άλλους στόχους της ΕΕ για το 2020, η επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης είχε αποδειχθεί ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της αυξημένης ζήτησης (Thomas and Rosenow, 2020). Όσον αφορά μάλιστα το 2030, ακόμη και με όλες τις τρέχουσες πολιτικές σε ισχύ και παρά την προβλεπόμενη υπεραπόδοση έναντι του παλαιού στόχου για μείωσης εκπομπών κατά 40%, ο στόχος ενεργειακής απόδοσης του 32.5 % (που μάλιστα αναμένεται να αναβαθμιστεί περαιτέρω για την επίτευξη των νέων, πιο φιλόδοξων κλιματικών στόχων της ΕΕ) φαίνεται εξαιρετικά δύσκολα επιτεύξιμος (Nikas et al., 2021a). Δεύτερον, εκτιμήσεις προβλέπουν ότι ο οικιακός τομέας θα απαιτήσει τα μεγαλύτερα ποσά επενδύσεων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για την επίτευξη της μετάβασης (Claeys et al., 2019). Και τρίτον, τα κτίρια συγκαταλέγονται μεταξύ των τομέων που αποτελούν πλέον μέρος της νεοεισαχθείσας διευρυμένης κάλυψης του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU-ETS) μέσω του ETS II.

Σε αυτούς τους τρεις βασικούς λόγους για τους οποίους γίνεται αντιληπτό ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη αξία στον οικιακό τομέα ακόμα και κάτω από σταθερές συνθήκες, η ενεργειακή κρίση του 2022-2023 ήρθε να προσθέσει και έναν επιπλέον λόγο, αυτόν του κόστους ενέργειας για τα νοικοκυριά. Ειδικότερα για την Ελλάδα, τα νοικοκυριά είδαν τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και των ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου/φυσικού αερίου για θέρμανση και βενζίνη/πετρέλαιο κίνησης) να αυξάνονται σημαντικά (Karamaneas et al., 2023), προσθέτοντας ένα τεράστιο βάρος στον προϋπολογισμό τους. Ταυτόχρονα επιδοτήσεις επί της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτέλεσε τον κυρίαρχο μηχανισμό έναντι της ενεργειακής κρίσης κατακρίθηκαν ως έμμεσες επιδοτήσεις στα ορυκτά καύσιμα που διαιωνίζουν την κυριαρχία τους (Doukas, 2022a). Επομένως η αντιμετώπιση του κόστους ενέργειας των καταναλωτών ανάγεται από την κρίση σε κομβική πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί, δεδομένων και των ισχυρών ποσοστών ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα (Papada and Kalampiakos, 2020), με αυτά τα ζητήματα να αναδεικνύονται ως κομβικά και από την διαδικασία συνδιαμόρφωσης

όπως παρουσιάστηκε στην Ενότητα ΙΙ, και κυρίως στα Κεφάλαια 7 και 9, όπου τονίστηκαν από τους συμμετέχοντες η σημασία τόσο των λύσεων για μετασχηματισμούς από την πλευρά της ζήτησης και ιδίως για την κάλυψη των θερμικών αναγκών στα κτήρια, όσο και η αξία της πρόσβασης σε φθηνή και καθαρή ενέργεια (SDG7).

Για να αξιοποιηθεί το δυναμικό ενεργειακής απόδοσης στα κτήρια, εισήχθη η έννοια της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας με τη μορφή εφαρμογών τεχνολογίας της πληροφορίας και επικοινωνιών με επίκεντρο τον χρήστη. Στόχος τους ήταν η προώθηση της «συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας» (Marinakis et al., 2020b), η οποία αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από αλλαγές στις συμπεριφορές των καταναλωτών, όπως αυτές καθοδηγούνται μέσα από την άμεση έκθεση των τελικών χρηστών σε εξατομικευμένα δεδομένα και πληροφορίες για τις πηγές κατανάλωσης τους (Fraternali et al., 2019), και που παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης (Lopes et al., 2015). Αυτό το δυναμικό ήταν που η ΕΕ επιχείρησε να αξιοποιήσει ως πρώτο μηχανισμό για την αντιμετώπιση του κενού που προέκυψε από τον άμεσο περιορισμό των ροών φυσικού αερίου (Frilingou et al., 2023), με τους εθνικούς μηχανισμούς ωστόσο ιδίως στην Ελλάδα να τίθενται υπό αμφισβήτηση ως προς την υποστήριξη που παρείχαν για να επιτευχθεί αυτή η εξοικονόμηση (Doukas, 2022b). Η ενίσχυση της πλευράς της ζήτησης (π.χ., έναντι της πλευράς της προσφοράς όπως στο Κεφάλαιο 10), έχει επομένως να κάνει και με την αμεσότητα της ανάγκης για απόκριση στην κρίση. Όπως είδαμε στην κοινωνικοτεχνική ανάλυση για την περίπτωση της Ελλάδας (Κεφάλαιο 5), το φυσικό αέριο απέκτησε κυρίαρχο ρόλο, με αποτέλεσμα οι υψηλές τιμές του να αποτελούν άμεση απειλή που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί εξίσου άμεσα από την πλευράς της προσφοράς, λόγω καθυστερήσεων στο να προχωρήσουν επενδύσεις ΑΠΕ, ιδίως στην Ελλάδα, δεδομένης της γραφειοκρατίας και αντίστοιχων κοινωνικών πιέσεων. Επομένως για την παροχή άμεσων λύσεων, στρεφόμαστε στην πλευρά της ζήτησης και ιδίως σε ζητήματα αλλαγής συμπεριφορών.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ικανότητα εφαρμογής σχεδίων στον ευρύτερο κτιριακό τομέα, υπερβαίνοντας τα σύνορα του οικιακού τομέα, ώστε να περιλαμβάνει τόσο οικιακά όσο και μη οικιακά κτίρια και γραφεία (Morton et al., 2020; Mulville et al., 2017), πολύ μικρές επιχειρήσεις (de Leon Barido et al., 2018), νοσοκομεία (Morgenstern et al., 2016) και ακόμη και βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Doyle and Cosgrove, 2018). Οι πρωτοβουλίες για τον επηρεασμό των συμπεριφορών των τελικών χρηστών

περιλαμβάνουν συνήθως τη χρήση πληθώρας διαθέσιμων τεχνολογιών, από τον ενεργειακά αποδοτικό αυτοματισμό των κτιρίων (Marinakis et al., 2013) και τη δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας (McKenna et al., 2021), έως παρεμβάσεις χαμηλού κόστους, όπως η αντικατάσταση λαμπτήρων, ιδίως σε νοικοκυριά που πλήττονται από ενεργειακή φτώχεια (Nelson et al., 2019) και την προώθηση της αποδοτικής χρήσης των συσκευών (Mylan, 2017). Μια λεπτομερής και ολοκληρωμένη ανασκόπηση των στρατηγικών αλλαγής συμπεριφοράς παρουσιάζεται από τους Lopes et al. (2019). Εκτός από τον άμεσο αντίκτυπο τέτοιων παρεμβάσεων, η περαιτέρω διάδοση της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής ως αποτέλεσμα της βελτίωσης των γνώσεων ενός νοικοκυριού αναφορικά με τον τρόπο που καταναλώνει ενέργεια (de Leon Barido et al., 2018). Μέσα από αυτή την αύξηση των ενεργειακών γνώσεων των καταναλωτών μπορούν να ενθαρρυνθούν οι καλύτερες επιλογές κατά την αγορά συσκευών (Baldini et al., 2018) και να μειωθούν κοινές παρανοήσεις (όπως για παράδειγμα ότι αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοστάτη αυξάνει την ταχύτητα με την οποία θερμαίνεται μια οικία) σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας (Goodhew et al., 2017). Ως εκ τούτου, η επίτευξη μακροχρόνιας αλλαγής στη συμπεριφορά και η συνεπαγόμενη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να βασίζεται στην παροχή υψηλού επιπέδου πληροφοριών και επικοινωνίας, χρηματικών κινήτρων και ευνοϊκών διοικητικών περιβαλλόντων (Bastida et al., 2019).

Παρόλο που οι ένοικοι των κτιρίων φαίνεται να αποκτούν μεγαλύτερη επίγνωση της αξίας και της ανάγκης για βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές, η πράξη δείχνει ότι αυτοί δεν συμπεριφέρονται κατ' ανάγκη με πιο συνειδητό τρόπο (Doukas et al., 2019). Για τη βελτίωση της ενεργειακής ευαισθητοποίησης, έχει προταθεί η λογική της παιχνιδοποίησης (gamification), μεταξύ άλλων, για τη μείωση της εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας (Casals et al., 2020). Τέτοιες τεχνικές φαίνεται να έχουν ισχυρότερο αντίκτυπο στην αλλαγή συμπεριφοράς όταν συνδυάζονται με τα χρηματικά κίνητρα, αν και σε τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζεται ταυτόχρονα ο κίνδυνος ανάκαμψης της κατανάλωσης (rebound) (Azarova et al., 2020). Ταυτόχρονα, η αποτελεσματικότητα τέτοιων συστημάτων μπορεί να αμφισβητηθεί και πρέπει να δοκιμαστεί και να επικυρωθεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Alberts et al., 2016), καθώς δεν ανταποκρίνονται όλοι οι χρήστες το ίδιο σε τέτοιες τεχνικές και κίνητρα. Αυτό ισχύει ιδίως λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας λόγω περιορισμένης συμμόρφωσης των νοικοκυριών (Henry et al., 2019) ή αλλαγών στην ανθρώπινη συμπεριφορά όσον αφορά τη χρήση ενέργειας που επέφερε η COVID-19 (Jens and Gregg, 2021). Παρόλο που

η συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας φαίνεται να έχει αξία για την μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, απαιτούνται περαιτέρω εμπειρικά δεδομένα (Johnson et al., 2017) για την αποτελεσματική υποστήριξη των πολιτικών καινοτομίας (Mylan, 2017). Ο Πίνακας 11.1 παρέχει μια επισκόπηση των πρόσφατων σχετικών άρθρων στη βιβλιογραφία σχετικά με τη συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργεια.

Πίνακας 11.1. Πρόσφατη βιβλιογραφία σχετικά με τη συμπεριφορική ενεργειακή απόδοση

Μελέτη	Τομέας εφαρμογής	Μέθοδοι/Εργαλεία	Στρατηγική	Τομέας συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας	Παροχή Κινητρων
(Bastida et al., 2019)	Οικιακός	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Λύσεις βασισμένες στις ΤΠΕ (στη βιβλιογραφία)	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	N/A (μόνο ως πρόταση)
(Baldini et al., 2018)	Οικιακός	Δεδομένα Έρευνας: Μοντέλα Λογιστικής Παλινδρόμησης	N/A	Επιλογή ενεργειακά αποδοτικών συσκευών από τους καταναλωτές	N/A
(Henry et al., 2019)	Οικιακός	Μελέτη πεδίου: Στατιστική Ανάλυση	Ενεργειακές Αναφορές σε επίπεδο κτηρίου	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	N/A
(Morton et al., 2020)	Οικιακός/ Μη οικιακά κτίρια	Πιλοτικές εφαρμογές: επισκέψεις, εργαστήρια, ερωτηματολόγια	Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	N/A (μέρος ερωτηματολογίου)
(Johnson et al., 2017)	Οικιακός	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Παιχνιδοποίηση, Σοβαρά παιχνίδια (στη βιβλιογραφία)	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	N/A
(Casals et al., 2020)	Κοινωνικές Κατοικίες	Σοβαρό παιχνίδι	Συσκευές πληροφορικής	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	Ανταμοιβές εντός παιχνιδιού
(Morgenstern et al., 2016)	Κτίρια Νοσοκομείων	Έρευνα	N/A	Πρωτοβουλίες συμπεριφοράς με επίκεντρο το προσωπικό	N/A (μέρος ερωτηματολογίου)
(Doyle και Cosgrove, 2018)	Βιομηχανικά Κτίρια	Ποσοτικοποίηση διαρροής πεπιεσμένου αέρα	Παρακολούθηση ενέργειας	Αλλαγές συμπεριφοράς γύρω από τις μηχανές παραγωγής	N/A
(Fraternali et al., 2019)	Όλοι	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Εργαλεία οπτικοποίησης/ παιχνιδοποίησης στη βιβλιογραφία	Αλλαγές συμπεριφοράς για εξοικονόμηση ενέργειας/νερού	N/A (προοπτική)
(Alberts et al., 2016)	Φοιτητικές Εστίες	Πείραμα	Διαγωνισμός πληροφοριών και βραβείων	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	Διαγωνισμός βραβείων

Μελέτη	Τομέας εφαρμογής	Μέθοδοι/Εργαλεία	Στρατηγική	Τομέας συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας	Παροχή Κινητρων
(Barton et al., 2018)	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας	Μοντελοποίηση/ κοινωνικοτεχνική ανάλυση	N/A	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	N/A
(Goodhew et al., 2017)	Οικιακός	Μεθοδολογία Νοητικών Μοντέλων	N/A	Θερμοστάτης, μόνωση, ροές θέρμανσης	N/A
(McKenna et al., 2021)	Οικιακός	Πείραμα: Οικονομετρική ανάλυση	Παροχή δεδομένων σε εφαρμογή για smartphone	Ευελιξία από την πλευρά της ζήτησης	N/A
(Marinakis et al., 2018)	Μη οικιακά κτίρια	Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων με χρήση δεδομένων σε πιλότους	Σχέδιο δράσης βασισμένο σε πληροφορίες από το εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων	Ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής	Δ/Υ (συζητείται ως προοπτική)
(Azarova et al., 2020)	Οικιακός	Πείραμα: Οικονομετρική Ανάλυση	Εφαρμογή smartphone και έξυπνος μετρητής	Μείωση κατανάλωσης σε βραδινές ώρες αιχμής	Κίνητρα με τη μορφή δωρεάν ηλεκτρικής ενέργειας
(Mylan, 2017)	Όλοι	Ιστορική ανάλυση: εκθέσεις, βιβλιογραφία και συνεντεύξεις	Εταιρική καμπάνια	Πλυντήρια ρούχων χαμηλής θερμοκρασίας	N/A
(de Leon Barido et al., 2018)	Νοικοκυριά και πολύ μικρές επιχειρήσεις	Έρευνες/συνεντεύξεις, Μελέτη: Μπεϋζιανή στατιστική	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Ευέλικτη ζήτηση ψυγείων/καταψυκτών	Ενθάρρυνση της συμμετοχής· εσωτερικά στον πιλότο
(Lin et al., 2020)	Οικιακός	Στατιστική Ανάλυση Καταναλωτικών Δεδομένων	Συγκριτικά Δεδομένα	Συμπεριφορά των καταναλωτών κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19	N/A

Παρόλο που η μελλοντική μετάβαση αναμένεται να απαιτήσει τη συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας για την επίτευξη των στόχων μείωσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Barton et al., 2018), οι μετασχηματισμοί από την πλευρά της ζήτησης συνήθως υπο-εκπροσωπούνται στις ασκήσεις μοντελοποίησης με έμφαση στη διασύνδεση κλίματος-ενέργειας-οικονομίας (Nikas et al., 2020· Trutnevyte et al. 2019; Mundaca et al., 2019). Υπάρχουν μόνο λίγα σενάρια που εξετάζουν περιορισμένο αριθμό συμπεριφορικών πτυχών και τρόπων ζωής (Grottera et al., 2020· van der Berg et al., 2019), συνήθως μέσω γενικών υποθέσεων για πιθανές (σημαντικές) μειώσεις της ζήτησης ενέργειας χωρίς όμως να προσδιορίζεται η πηγή αυτών των μειώσεων (Napp et al., 2019· Grubler et al., 2018), ή ακόμα και μη βέλτιστες συμπεριφορές (Li, 2017). Αυτό

ισχύει επίσης συνολικά για σενάρια χαμηλών εκπομπών που ενσωματώνουν δράσεις που σχετίζονται με την αλλαγή συμπεριφοράς σε παγκόσμιο επίπεδο ανεξαρτήτως τομέα, όπως σχετικά με την καλύτερη χρήση συσκευών, διατροφικών συνηθειών και δημόσιων συγκοινωνιών (van Vuuren et al., 2018) ή μέτρα από την πλευρά της χρήσης γης (Roe et al., 2019). Το ίδιο μπορεί να υποστηριχθεί για τη μοντελοποίηση σεναρίων σε περιφερειακό επίπεδο, εξετάζοντας, για παράδειγμα, το δυναμικό μετριασμού της κλιματικής αλλαγής της ΕΕ που έγκειται σε αλλαγές συμπεριφοράς που βασίζονται στη μειωμένη ζήτηση τροφίμων, μετακινήσεων και οικιακές ενεργειακές ανάγκες χωρίς καμία προσωπική αρχική επένδυση (van de Ven et al., 2018).

Εκτός από τις μεταφορές, όπου αυτοί οι μετασχηματισμοί συνήθως συμβάλλουν σε ευρύτερους στόχους μετριασμού μέσω της μείωσης της ζήτησης του τομέα (Gota et al., 2019; Gil and Bernardo, 2020; Hof et al., 2020; Jones et al., 2019), και από σενάρια μετριασμού που εξετάζουν τη μετάβαση σε πιο υγιεινές διατροφικές συνήθειες (Karlsson et al., 2018; Lee et al., 2019· Kriegler et al., 2017), ο κτηριακός τομέας είναι κομβικός στις προσπάθειες που σχετίζονται με την αλλαγή συμπεριφοράς. Ωστόσο, οι περισσότερες προσεγγίσεις αποτυπώνουν μόνο έμμεσα πτυχές συμπεριφοράς, δεδομένου ότι τα σενάρια χαμηλής ζήτησης ενέργειας καθοδηγούνται κυρίως από παραδοσιακές παρεμβάσεις από την πλευρά της ζήτησης, όπως η μόνωση ή οι αντλίες θερμότητας (Levesque et al., 2019), οι οποίες υπονομεύουν τις αλλαγές στον τρόπο ζωής ή απλώς τις περιλαμβάνουν μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται χωρίς πρόσθετη εξειδίκευση (Urquizo et al., 2018). Αξίζει να τονιστεί ωστόσο ότι η συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας δεν ανταγωνίζεται αλλά οφείλει να αλληλοσυμπληρώνει αυτές τις συμβατικές δράσεις, για μεγιστοποίηση του συνολικού οφέλους σε επίπεδο κτηρίου, και μάλιστα υπό το πρίσμα ότι η συμπεριφορά των ενοίκων είναι ακόμη πιο σημαντική όταν η κατανάλωση είναι σε χαμηλότερα επίπεδα (Pisello et al., 2016). Ομοίως, οι Hainsch et al. (2020) περιγράφουν και ποσοτικοποιούν ένα σενάριο βασισμένο σε αλλαγές συμπεριφοράς, το οποίο εκφράζεται μέσω σημαντικής μείωσης της χρήσης ενέργειας. Οι Broad et al. (2020) εξέτασαν την απανθρακοποίηση του οικιακού τομέα του Ηνωμένου Βασιλείου, εστιάζοντας στις αναβαθμίσεις των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και εφαρμόζοντας χαμηλότερους περιορισμούς στις επενδυτικές επιλογές κατοικιών για τη διαφοροποίηση των χαρτοφυλακίων, αλλά όσον αφορά ζητήματα συμπεριφοράς των καταναλωτών αυτά βασίστηκαν μόνο σε στατιστικά στοιχεία. Οι Mastrucci et al. (2017) αξιολόγησαν το απόθεμα κατοικιών μιας κοινότητας στο νοτιοδυτικό

Λουξεμβούργο, λαμβάνοντας υπόψη έναν περιορισμένο αριθμό παραμέτρων συμπεριφοράς για να ενσωματώσουν την αβεβαιότητα από τη συμπεριφορά των ενοίκων. Άλλες προσεγγίσεις έχουν επικεντρωθεί στον αντίκτυπο των πολιτικών φορολόγησης του άνθρακα στη μείωση της κατανάλωσης, ως αποτέλεσμα των αυξημένων τιμών της ενέργειας (Sommer and Kratena, 2020; Niamir et al., 2020; Meng et al., 2018).

Αυτή η κυρίως έμμεση συμπερίληψη συμπεριφορικών πτυχών σημαίνει ότι οι αλλαγές στον τρόπο ζωής χρησιμοποιούνται για να δικαιολογήσουν αυστηρότερους περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας ως μέρος των υποθέσεων ενός σεναρίου σε μεγάλης κλίμακας (παγκόσμια) μοντέλα που στοχεύουν στην επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων, αντί να είναι το άμεσο αιτιώδες αποτέλεσμα των μειώσεων στην κατανάλωση ενέργειας. Ταυτόχρονα, μικρότερης κλίμακας μοντέλα που βασίζονται σε προσομοιώσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (Stazi et al., 2017; Lopes et al., 2017), οντολογίες συμπεριφοράς ενοίκων (Hong et al., 2015; 2020) και μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες (Chappin et al., 2020) που επικεντρώνονται στο ίδιο το κτίριο, εκπροσωπούν καλύτερα τις συμπεριφορές των ενοίκων αλλά συνήθως στερούνται λεπτομερειών όσον αφορά τις συγκεντρωτικές (π.χ. εθνικές) επιπτώσεις, το οποίο υπογραμμίζει ένα κενό γνώσης στις ασκήσεις μοντελοποίησης που αποσκοπούν στην ενημέρωση της δράσης για το κλίμα, η οποία περιλαμβάνει την αναπαράσταση της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Η δυνατότητα χρηματικής αποτίμησης για τη μετατροπή περιβαλλοντικών πτυχών σε νομισματικές μονάδες, πέρα από την άμεση παροχή κινήτρου, έχει προταθεί σε διαφορετικά πλαίσια (π.χ., da Silva et al., 2020). Ωστόσο, μια τέτοια προσέγγιση δεν έχει προταθεί για την μελέτη των αλλαγών συμπεριφοράς ώστε να διευκολυνθεί η συμπερίληψη κοινωνικών παραγόντων στις ασκήσεις μοντελοποίησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας για την επίτευξη μελλοντικών κλιματικών στόχων, τις επιπτώσεις της ενεργειακής κρίσης, την μέχρι στιγμής περιορισμένη αναπαράσταση της αλλαγής συμπεριφοράς στις ασκήσεις μοντελοποίησης που σχετίζονται με τη δράση για το κλίμα και ειδικά στον κτιριακό τομέα, καθώς και τις πρόσφατες εκκλήσεις συμπεριλαμβανομένων των ενδιαφερόμενων μερών που συμμετείχαν στις διαδικασίες της παρούσας διατριβής (Ενότητα II) για επέκταση των μοντέλων ώστε να ενσωματωθούν ανατρεπτικές καινοτομίες (Nikas et al., 2021b) και να αναλυθούν κίνητρα και παρεμβάσεις στην πλευρά της ζήτησης για την παροχή φθηνής και καθαρής ενέργειας, στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να αντιμετωπίσει το ακόλουθο ερευνητικό

ερώτημα: Θα πρέπει η νομισματοποίηση της αλλαγής συμπεριφοράς να θεωρείται ως ένα αποδοτικό μέτρο πολιτικής για τη στήριξη της διαχείρισης της ενέργειας στον οικιακό τομέα;

Για την αντιμετώπιση αυτού του ερωτήματος, το μοντέλο ATOM (Marinakis et al., 2020a) συνδέεται με το μοντέλο Dynamic high-Resolution dEmand-sidE Management (DREEM) (Stavrakas and Flamos, 2020). Το ATOM είναι ένας μηχανισμός επιβράβευσης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας ενεργειακής απόδοσης υπό τη μορφή ενός ψηφιακού ενεργειακού νομίσματος που συνδέει δυναμικά την αξία ενός νομίσματος με τη συμπεριφορά των τελικών χρηστών. Το DREEM, από την άλλη πλευρά, είναι ένα από τα κάτω προς τα πάνω (bottom up) μοντέλο ζήτησης βασισμένο σε πράκτορες που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων. Τα δύο μοντέλα συνδέονται για να πραγματοποιηθεί μια μελέτη περίπτωσης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας, εστιάζοντας σε τέσσερις τυπολογίες αναφοράς και υλοποιώντας μια δράση διαχείρισης ενέργειας με τη μορφή ρύθμισης της θερμοκρασίας ενός θερμοστάτη.

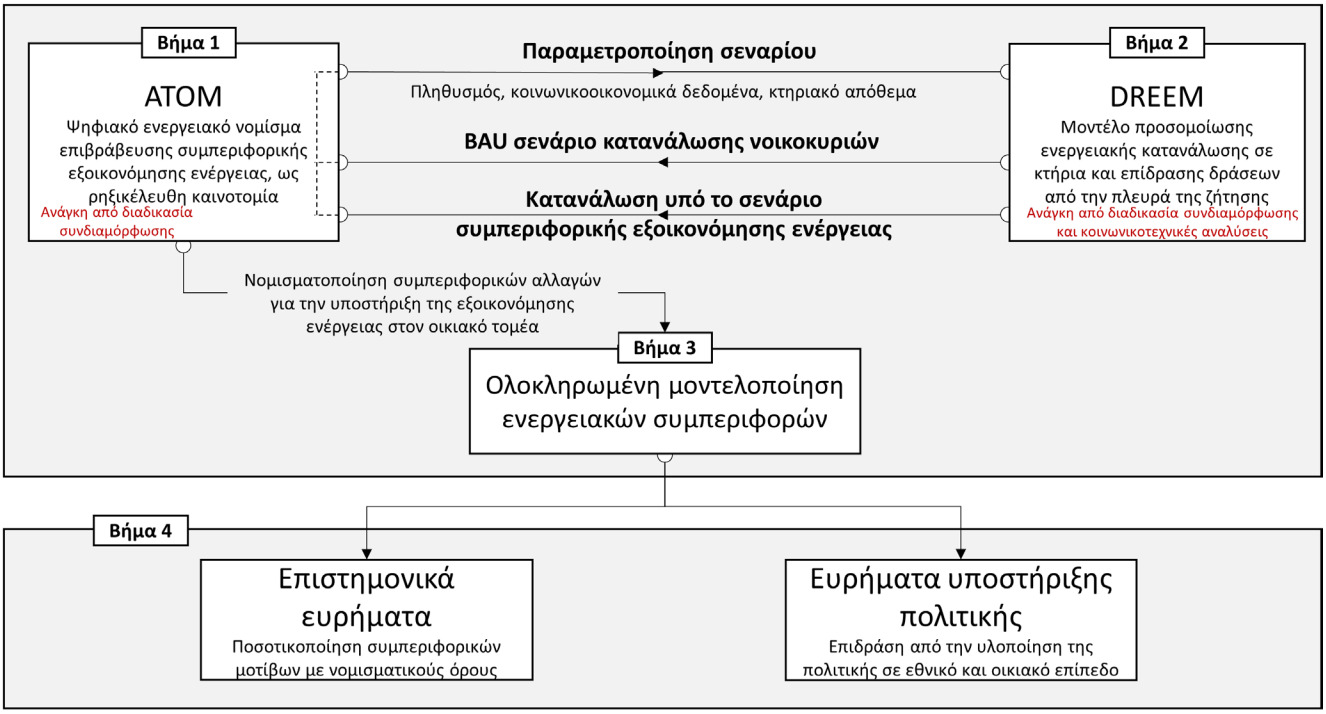
11.2 Τα μοντέλα ATOM και DREEM

Για να απαντήσουμε στο κύριο ερευνητικό ερώτημα αναφορικά με την αξία της νομισματοποίησης ως μέσο πολιτικής, όπως διατυπώθηκε στην εισαγωγή, συνδέουμε τον μηχανισμό επιβράβευσης εξοικονόμησης ενέργειας του μοντέλου ψηφιακού ενεργειακού νομίσματος ATOM με το bottom-up μοντέλο πρακτόρων DREEM για την προσομοίωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια. Το λεξικό του Cambridge (2021) ορίζει τη νομισματοποίηση (σε ελεύθερη μετάφραση) ως εξής:

1. Η πράξη της μετατροπής ή έκφρασης της αξίας μιας δραστηριότητας σε νομισματικές μονάδες. Στην περίπτωσή μας, αυτό αναφέρεται στην ποσοτικοποίηση της μεταβολής συμπεριφοράς προς την ενεργειακή απόδοση σε νομισματικές μονάδες.
2. Η πράξη της δημιουργίας κερδών από μια δραστηριότητα. Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, αυτό αναφέρεται στην παροχή κινήτρων στους τελικούς χρήστες για εξοικονόμηση ενέργειας.

Ειδικότερα, επιδιώκουμε να εξετάσουμε την απόδοση της νομισματοποίησης των αλλαγής συμπεριφοράς, με βάση τους δύο ευρύτερους ορισμούς του όρου, ώστε να μπορέσουμε να συμπεράνουμε εάν θα πρέπει να εξεταστεί ως δυνατή λύση στην υποστήριξη πολιτικών που στοχεύουν στη διαχείριση της ενέργειας στον οικιακό τομέα. Τα μοντέλα επιλέγονται με βάση

τη συμβατότητά τους και τις δυνατότητες που παρέχουν για την προσομοίωση. Συγκεκριμένα, το ATOM συγκαταλέγεται στους καινοτόμους μηχανισμούς ψηφιακής ενεργειακής ανταμοιβής για την ενεργειακή απόδοση μέσω αλλαγών συμπεριφοράς στη βιβλιογραφία (Marinakis et al., 2020a), ενώ το DREEM είναι ένα bottom-up μοντέλο με αναπαράσταση του οικιακού τομέα σε επίπεδο κτιρίου που λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά των ενοίκων (Stavrakas and Flamos, 2020). Οι προδιαγραφές αυτές είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική ανάλυση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτή η διασύνδεση των δύο μοντέλων (soft-link) παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.1.



Εικόνα 11.1. Μεθοδολογία προσομοίωσης νομισματοποίησης συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω δράσεων διαχείρισης ενέργειας.

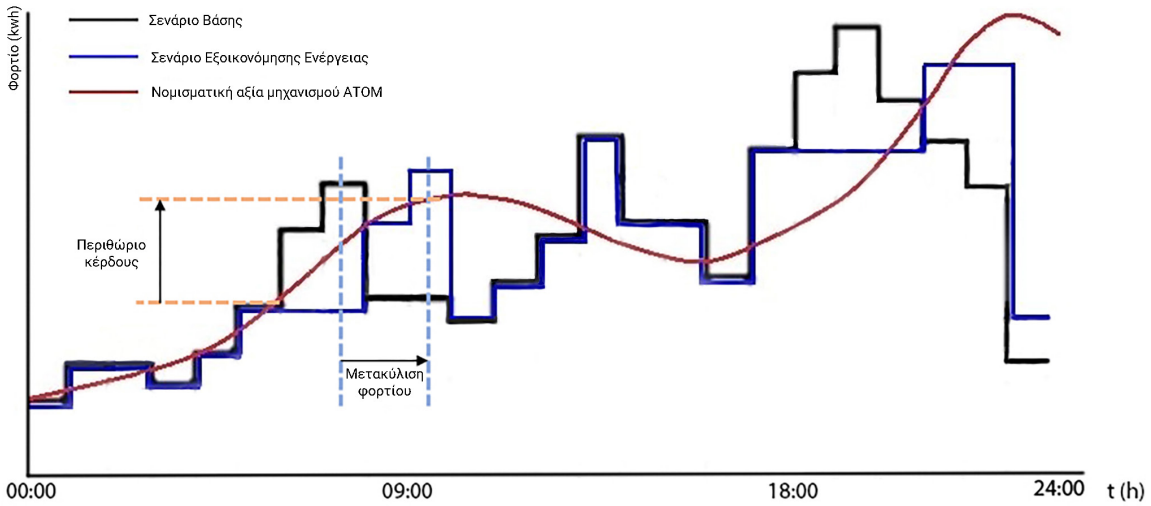
11.2.1 Το ψηφιακό ενεργειακό νόμισμα ATOM

Η εμφάνιση εφαρμογών που χρησιμοποιούν λύσεις που αξιοποιούν το blockchain στον ενεργειακό τομέα έχει προσφέρει νέες ευκαιρίες για την υποστήριξη μιας βιώσιμης μετάβασης (Andoni et al., 2019). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η παροχή κινήτρων ήταν καίριας σημασίας για την αύξηση της συμμετοχής στις τοπικές κοινότητες (Mengelkamp et al., 2018). Τα ενεργειακά νομίσματα, με τη μορφή είτε απλών ανταλλάξιμων μονάδων είτε συμπληρωματικών νομισμάτων για τη νομισματοποίηση κινήτρων, μπορούν να παρέχουν λύσεις που οι τελικοί

χρήστες είναι πρόθυμοι να αποδεχτούν, λαμβάνοντας υπόψη τις ολοένα και αυξανόμενες ψηφιακές τους δεξιότητες (Bielecki et al., 2021). Ο τύπος της ανταμοιβής είναι ζωτικής σημασίας στο κατά πόσο οι χρήστες είναι όντως διατεθειμένοι να πραγματοποιήσουν αλλαγές συμπεριφοράς. Η περιορισμένη αποτελεσματικότητα άλλων μορφών κινήτρων για την προώθηση μέτρων ενεργειακής απόδοσης, όπως οι φορολογικές μειώσεις, υποδηλώνουν την ανάγκη σχεδιασμού αποτελεσματικότερων πολιτικών (Prete et al., 2017). Συνήθως, οι περισσότερες από αυτές τις πρακτικές επικεντρώνονται στην παραγωγή καθαρής ενέργειας χρησιμοποιώντας διάφορα είδη κρυπτονομισμάτων, όπως το SolarCoin, το οποίο ανταμείβει την έγχυση ηλιακής ενέργειας στο σύστημα (Dierksmeier and Seele, 2018). Άλλες προσπάθειες επικεντρώνονται στην η παροχή κινήτρων για εξισορρόπηση ζήτησης-προσφοράς μέσω του NRGCoin, ενός εικονικού νομίσματος για την εμπορία ενέργειας (Mihaylov et al., 2014), καθώς και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα (Garbi et al., 2019). Για να αντιπροσωπεύσουν ευρύτερες πτυχές των κοινωνικών δραστηριοτήτων, οι Sgouridis and Kennedy (2010) πρότειναν ένα νόμισμα ενεργειακής πίστωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια κοινότητα, και που είναι ανταλλάξιμο με το ενεργειακό περιεχόμενο μιας υπηρεσίας (πχ εισιτήριο σε μέσα μαζικής μεταφοράς).

Πρόσφατα, οι Marinakis et al. (2020a) επέκτειναν τον τομέα των ενεργειακών νομισμάτων για να συμπεριλάβουν την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια μέσω ενός ψηφιακού ενεργειακού νομίσματος, του ATOM, το οποίο ανταμείβει τους τελικούς χρήστες όταν μεταβαίνουν σε μια πιο αποδοτική συμπεριφορά μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας τους. Μέσω εσωτερικών υπολογισμών δυναμικής τιμολόγησης, η αξία του ATOM κυμαίνεται γύρω από την τιμή της ενέργειας σε καθημερινή βάση, ακολουθώντας την υπόθεση ότι ένα νόμισμα ισοδυναμεί με 1kWh, και αυξάνεται όταν η συλλογική συμπεριφορά της κοινότητας είναι πιο αποτελεσματική σε σύγκριση με έναν στόχο ενεργειακής απόδοσης που αναμένεται να επιτευχθεί για δεδομένο προϋπολογισμό. Εδώ, επεκτείνουμε το πλαίσιο δυναμικής τιμολόγησης του ATOM για να ενσωματώσουμε τη διακύμανση των τιμών σε ωριαία βάση, προκειμένου να επεκτείνουμε τις ενέργειες διαχείρισης ενέργειας που αντιπροσωπεύονται από το νόμισμα και να συμπεριλάβουμε εφαρμογές μετατόπισης φορτίου. Η Εικόνα 11.2 παρουσιάζει σε θεωρητικό επίπεδο τον μηχανισμό με τον οποίο παράγεται οικονομικό κέρδος για τους χρήστες από τη μετατόπιση φορτίου. Συγκεκριμένα, όταν ο τελικός χρήστης μετατοπίζει την πραγματική κατανάλωση ενέργειας (μπλε γραμμή) από την κατανάλωση αναφοράς χωρίς την πραγματοποίηση κάποιας δράσης εξοικονόμησης ενέργειας (μαύρη

γραμμή) σε μεταγενέστερη περίοδο εκτός των ωρών αιχμής του συστήματος και υποθέτοντας ορθολογικές επιλογές από τους άλλους χρήστες/φορείς του συστήματος, η τιμή του ATOM (κόκκινη γραμμή) αυξάνεται, οδηγώντας σε οικονομικά οφέλη για τον εν λόγω χρήστη.



Εικόνα 11.2. Παράδειγμα του μηχανισμού παραγωγής οικονομικού κέρδους του ATOM για δράσεις μετατόπιση φορτίου.

Σε αυτήν την αναβαθμισμένη προσέγγιση, η τιμή $C_{i,l}$ του ATOM για την ώρα l της ημέρας i υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$C_{i,l} = p * \frac{B_T}{EST} * \left(0.5 * \frac{\sum_{j=1}^{N}\{\sum_{i=1}^{K}[(\sum_{l=1}^{24} ES_{ij,l})-(c_c-c_b)_{l-1}]\}}{\sum_{i=1}^{K}\left[\sum_{l=1}^{24} B_{i,l}+\frac{B_T}{EST}*e-C_{i,l-1}*(c_c-c_b)_{l-1}\right]} + 0.5 * \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=K-5\geq 0}^{K}\sum_{l=1}^{24} ES_{ij,l}}{\sum_{i=K-5\geq 0}^{K}\sum_{l=1}^{24} B_{i,l}}\right) \quad (11.1)$$

Η τιμή p αντιπροσωπεύει την τιμή της ενέργειας, το B_T αφορά το συνολικό διατιθέμενο κεφάλαιο για την επίτευξη ενός προκαθορισμένου στόχου εξοικονόμησης ενέργειας (EST), το $ES_{ij,l}$ είναι η ποσότητα ενέργειας που εξοικονομεί το νοικοκυριό j την ημέρα i και ώρα l, και το $B_{i,l}$ είναι το κεφάλαιο που κατανέμεται στην ώρα l της ημέρας i. Αυτές οι παράμετροι εξασφαλίζουν τη συσχέτιση του ATOM με το αγαθό που αντιπροσωπεύει, οδηγώντας την αξία του νομίσματος να βρίσκεται γύρω από την τιμή της ενέργειας, και τις μεταβολές να αφορούν την αποδοτικότητα των χρηστών σε σύγκριση με τους στόχους που έχουν τεθεί. Τα κλάσματα στην παρένθεση υπογραμμίζουν τη μακροπρόθεσμη απόδοση των χρηστών (πρώτο κλάσμα; μακροπρόθεσμος παράγοντας), όπου λαμβάνονται υπόψη όλες οι προηγούμενες ημέρες, και τη

βραχυπρόθεσμη απόδοση (δεύτερο κλάσμα; βραχυπρόθεσμος παράγοντας), όπου υπολογίζονται μόνο οι τελευταίες πέντε ημέρες.

Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση, το νόμισμα επιτυγχάνει καλύτερη χρονική αναπαράσταση, δίνοντας προτεραιότητα στις πρόσφατες βελτιώσεις συμπεριφοράς, ενώ παράλληλα λαμβάνει υπόψη και τη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά, η οποία είναι ζωτικής σημασίας στη θεωρία αλλαγής συμπεριφοράς για την διατήρηση των μεταβολών συμπεριφοράς που επιτυγχάνουν στο μέλλον (Norcross et al., 2011).

Οι χρήστες μπορούν να εξαργυρώσουν τα ψηφιακά νομίσματα που αποκτήθηκαν από την εξοικονόμηση ενέργειας (c_c) ή ακόμα και να αγοράσουν επιπλέον νομίσματα (c_b) σε ωριαία βάση. Τέλος, η πλεονάζουσα κατανάλωση ενέργειας (e) που υπερβαίνει τον καθορισμένο βασικό στόχο σε επίπεδο νοικοκυριού τιμωρείται με βάση την σταθερή αξία που καθορίζεται από τους στόχους για να διασφαλιστεί η επίτευξη των εν λόγω στόχων, αλλά χωρίς την εφαρμογή μιας δυναμικά τιμολογημένης ποινής που μπορεί να είναι σκληρή αναλογικά με τη μεταβλητότητα του νομίσματος. Ως εκ τούτου, τρεις βασικές πτυχές της παροχής οικονομικών κινήτρων από τη θεωρία των συμπεριφορικών οικονομικών ενσωματώνονται σε αυτή την αναβαθμισμένη έκδοση του μοντέλου ATOM σε ωριαία βάση: επιδοτήσεις για ευεργετική συμπεριφορά, κυρώσεις για επιβλαβή συμπεριφορά και εμπορία δικαιωμάτων (Sunstein, 1997). Η διεπιστημονική φύση του ATOM, ενσωματώνοντας διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις και κοινωνικές πτυχές (Galende-Sánchez and Sorman, 2021; Sovacool, 2014; Mundaca et al., 2022), παρέχει μια ευκαιρία για την αύξηση της νομιμοποίησης της μοντελοποίησης (Süsser et al., 2021), καθώς ο μηχανισμός χρησιμοποιείται όχι μόνο άμεσα ως σύστημα ανταμοιβής, αλλά και ως εργαλείο προσομοίωσης που επιτρέπει την έκφραση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε νομισματικούς όρους, με διακυμάνσεις που υποδηλώνουν την αποδοχή και την ικανότητα των παραγόντων να συμπεριφέρονται αποτελεσματικά και να αποτελούν ενεργό μέρος του ενεργειακού συστήματος (Parag and Sovacool, 2016).

11.2.2 Το μοντέλο DREEM

Το DREEM είναι ένα υβριδικό bottom-up μοντέλο που συνδυάζει τα βασικά χαρακτηριστικά τόσο στατιστικών όσο και μοντέλων μηχανικής. Χρησιμεύει ως σημείο εισόδου στη μοντελοποίηση της διαχείρισης της ζήτησης (DSM) στον κτιριακό τομέα, επεκτείνοντας τις υπολογιστικές δυνατότητες των υφιστάμενων μοντέλων ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων (BES) για την

αξιολόγηση των οφελών και των περιορισμών της ευελιξίας της ζήτησης, κυρίως για τους καταναλωτές, αλλά και για άλλους εμπλεκόμενους φορείς.

Η καινοτομία του μοντέλου DREEM έγκειται κυρίως στην αρθρωτή δομή του, η οποία χωρίζεται σε μεμονωμένες ενότητες, που χαρακτηρίζονται από τις βασικές αρχές των προσεγγίσεων μοντελοποίησης συστημάτων που βασίζονται σε συνιστώσες και λογικές αρθρωτής αρχιτεκτονικής (Stavrakas and Flamos, 2020). Αυτή η αρθρωτή προσέγγιση επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά τις πιθανές διαμορφώσεις συστημάτων και την υπολογιστική απόδοση προς ένα ευρύ φάσμα σεναρίων που μελετούν διαφορετικές πτυχές της τελικής χρήσης.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο DREEM ενσωματώνει πολλαπλά στοιχεία, καθένα από τα οποία αποτελείται από πρόσθετες ενότητες. Τα κύρια στοιχεία του μοντέλου DREEM περιλαμβάνουν τα στοιχεία: "καιρός-κλίμα", "κέλυφος κτιρίου", "ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας", "θερμική άνεση", "διαχείριση της ευελιξίας", και "στρατηγικές ελέγχου". Επιπλέον, οι «κάτοικοι», οι «συσκευές», η «θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός», «φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις», η «αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας» και ο «έξυπνος θερμοστάτης» είναι μερικά από τα βασικά στοιχεία/μεταβλητές του μοντέλου DREEM. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προδιαγραφές του κελύφους του κτιρίου και οι ιδιότητες των διαφόρων στοιχείων καθορίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ελληνικής Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Stavrakas and Flamos, 2020). Όλα τα στοιχεία έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη "Buildings", μια ελεύθερα διαθέσιμη βιβλιοθήκη Modelica για συστήματα ενέργειας και ελέγχου κτιρίων (Wetter, 2011), σε συνδυασμό με εργαλεία Python για τα στοιχεία Ζήτησης-Απόκρισης (DR) και ελέγχου.

11.2.3 Ολοκληρωμένη προσέγγιση διασύνδεσης

Για την αντιμετώπιση του ερευνητικού ζητήματος, αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ενοποίησης των δύο μοντέλων (ακολουθώντας τη λογική της Εικόνας 11.1), το οποίο περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

1. Μέσω του ATOM πραγματοποιείται η διαμόρφωση του σεναρίου το οποίο διαμορφώνεται σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες της μελέτης περίπτωσης. Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν δημογραφικά στοιχεία, όπως ο πληθυσμός και ο αριθμός των νοικοκυριών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα, πληροφορίες σχετικά

με το κτιριακό απόθεμα, καθώς και άλλες σχετικές τεχνοοικονομικές και κοινωνικοοικονομικές παραδοχές. Τα εν λόγω σύνολα δεδομένων θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν μικροδεδομένα από την έρευνα οικογενειακών προϋπολογισμών (HBS), τις στατιστικές της ΕΕ για το εισόδημα και τις συνθήκες διαβίωσης (EU-SILC), την έρευνα για τα οικονομικά και την κατανάλωση των νοικοκυριών (HFCS), το παρατηρητήριο κτιριακού αποθέματος (BSO) της ΕΕ και άλλα δεδομένα σε επίπεδο χώρας (π.χ. Poblete-Cazenave et al., 2021). Για παράδειγμα, σε κοινότητες που είναι λιγότερο ανθεκτικές (ή πιο επιρρεπείς) σε κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις όπως η ενεργειακή φτώχεια (Spiliotis et al., 2020), συνιστάται ο μηχανισμός κυρώσεων του ATOM να μειωθεί ή ακόμη και να αγνοηθεί εντελώς για να αποφευχθεί η πρόκληση κοινωνικών αδικιών.

2. Στη συνέχεια, οι παράμετροι που ορίζονται στο στάδιο 1 τροφοδοτούνται στο DREEM, το οποίο προσομοιώνει τα καταναλωτικά πρότυπα των επιλεγμένων τυπολογιών για δύο περιπτώσεις: συνηθισμένη χρήση του κτηρίου (BAU), όπου θεωρούμε ότι δεν υλοποιείται/ακολουθείται καμία ενέργεια για κάθε νοικοκυριό και την κατανάλωση των νοικοκυριών μετά την υλοποίηση μιας δράσης ενεργειακής διαχείρισης ή ενός χαρτοφυλακίου δράσεων (στην περίπτωσή μας, ενός μέτρου αλλαγής συμπεριφοράς). Με βάση αυτό, παρέχεται ανατροφοδότηση σε επίπεδο νοικοκυριού σε χρονικό πλαίσιο 1 ώρας που θα συγκεντρωθεί για την ανάλυση σε εθνικό επίπεδο.
3. Τα δύο σενάρια για κάθε νοικοκυριό στη συνέχεια τροφοδοτούνται πίσω στο ATOM, όπου τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται και ανάγονται σε εθνικό επίπεδο (ή στο επίπεδο της κοινότητας εφαρμογής) και παρέχονται τα αποτελέσματα της εξοικονόμησης ενέργειας και τα αντίστοιχα οικονομικά οφέλη από το μηχανισμό ATOM.
4. Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης, μπορούν να εξαχθούν οι οικονομικές λεπτομέρειες των αναμενόμενων κερδών ανά νοικοκυριό, παρέχοντας παράλληλα πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις πολιτικής από την αναβάθμιση της προσομοιωμένης αλλαγής συμπεριφοράς μέσω δράσεων διαχείρισης ενέργειας.

11.3 Αξιολόγηση της νομισματοποίησης συμπεριφορών ως πολιτικής ενεργειακής διαχείρισης στον ελληνικό οικιακό τομέα

11.3.1 Ελληνικό Πλαίσιο

Το 2018, ο οικιακός τομέας της Ελλάδας ήταν υπεύθυνος για την κατανάλωση 47TWh (συνολική ενέργεια ανηγμένη σε μονάδες ηλεκτρισμού), αντιπροσωπεύοντας περίπου το ένα τέταρτο της συνολικής τελικής ενέργειας που καταναλώθηκε στη χώρα (IEA, 2021). Σύμφωνα με λεπτομερή έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) που πραγματοποιήθηκε το 2012 (ΕΛΣΤΑΤ, 2013), η οποία παραμένει επίκαιρη σε πρόσφατες μελέτες μοντελοποίησης (Spyridaki et al., 2020), η μέση κατανάλωση ενέργειας ενός τυπικού νοικοκυριού στην Ελλάδα είναι 13,994kWh. Το 73,2% αυτού του ποσού προορίζεται για την κάλυψη θερμικών αναγκών και το 26,8% για την ηλεκτρική ενέργεια. Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα θεωρείται παλαιό και χαμηλής απόδοσης, καθιστώντας τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κατοικιών προτεραιότητα για την ενεργειακή πολιτική της χώρας (Boemi and Papadopoulos, 2019). Αυτός ο προσανατολισμός είναι επίσης εμφανής στο Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας της Ελλάδας, στο οποίο ένα ευρύ πρόγραμμα ανακαινίσεων αποτελεί τη βασική πτυχή του πυλώνα «Ανακαίνισης» της «πράσινης» μετάβασης της χώρας (Greek Ministry of Finance, 2020). Με τον τρόπο αυτό αξιοποιούνται κονδύλια της ΕΕ από το RRF (European Commission, 2020) που συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 10. Στο κεφάλαιο αυτό δίνουμε μεγαλύτερη έμφαση στο τμήμα του RRF που αφορά την μετάβαση του κτηριακού αποθέματος και ιδιαίτερα το εθνικό σχέδιο της Ελλάδας.

Ειδικότερα, από τις περισσότερες από 167 δράσεις που ανακοινώθηκαν πρόσφατα στο ελληνικό σχέδιο ανάκαμψης και ανθεκτικότητας και αντιστοιχούν σε συνολική κινητοποίηση περίπου 18 δισεκατομμυρίων ευρώ σε επιχορηγήσεις (και πάνω από 12 δισεκατομμύρια ευρώ σε δάνεια), μια δράση αφιερωμένη στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων κατά 30% αναμένεται να λάβει περισσότερα από ένα δισεκατομμύριο ευρώ (Hellenic Republic, 2021). Αν και αυτή η συμβατική προσέγγιση της ενεργειακής απόδοσης είναι σημαντική λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή απόδοση του παλαιού κτιριακού αποθέματος της χώρας, η δυσκολία στο παρελθόν για την επίτευξη των εθνικών στόχων ενεργειακής απόδοσης (Forouli et al., 2019) υπογραμμίζουν την ανάγκη επικαιροποίησης των παραδοσιακών πρακτικών. Κάτω από αυτό το πλαίσιο υποστηρίζεται η επιλογή του ελληνικού οικιακού τομέα ως μελέτη περίπτωσης για την εξέταση της νομισματοποίησης της αλλαγής συμπεριφοράς.

11.3.2 Σχεδιασμός σεναρίων και δεδομένα εισόδου

Αρχικά, συλλέγονται δημογραφικά και κοινωνικοοικονομικά στοιχεία που λειτουργούν ως δεδομένα εισόδου για την ακριβέστερη εκπροσώπηση της κοινότητας, στην περίπτωσή μας του οικιακού τομέα στην Ελλάδα. Η εισαγωγή δεδομένων μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες: αριθμός μελών νοικοκυριού, απασχόληση, ηλικία του κτηριακού αποθέματος, και κλιματική ζώνη της κατοικίας. Στον πίνακα 11.2 παρουσιάζονται οι στατιστικές παραδοχές στις οποίες βασίζεται η ανάλυσή μας.

Πίνακας 11.2. Στατιστικές παραδοχές για τις τέσσερις βασικές παραμέτρους.

Στατιστικές παραδοχές για βασικές παραμέτρους της προσομοίωσης							
Αριθμός μελών	Μερίδιο (%)	Καθεστώς απασχόλησης	Μερίδιο (%)	Ηλικία κτίσης του κτηριακού αποθέματος	Μερίδιο (%)	Κλιματική Ζώνη	Μερίδιο (%)
1 μέλος	25.68	Απασχολούμενοι	35.39	≤1960	14.74	A	20.67
2 μέλη	29.47	Μη Απασχολούμενοι	64.61	1961 - 1970	16.42	B	41.62
3 μέλη	19.78			1971 - 1980	23.81	C	33.45
4 μέλη	17.57			1981 - 1990	17.00	D	4.26
≥5 μέλη	7.5			1991 - 2000	13.20		
				2001≤	14.82		

Το κτηριακό απόθεμα της Ελλάδας αποτελείται από περίπου 4 εκατομμύρια νοικοκυριά, αρκετά ομοιόμορφα κατανεμημένα μεταξύ μονοκατοικιών και πολυκατοικιών (ELSTAT, 2011). Ωστόσο, η έκδοση του μοντέλου DREEM που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα μελέτη μπορεί να προσομοιώσει μόνο το πρώτο, πράγμα που σημαίνει ότι οι πολυκατοικίες δεν λαμβάνονται υπόψη. Τα κτήρια εντός του DREEM κατασκευάζονται με βάση τις τυπολογίες κτιρίων αναφοράς TABULA (Ballarini et al., 2014; Loga et al., 2016). Επιπλέον, ο μέσος αριθμός μελών σε ένα τυπικό νοικοκυριό είναι περίπου 2.5 (Kokkoris et al., 2019), και επιλέγουμε νοικοκυριά 3 μελών, κάτι που επιτρέπει την ενσωμάτωση μιας ποικιλίας συμπεριφορών που η μελέτη

επιδιώκει να συλλάβει (συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα, των συνηθειών των παιδιών ή δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτά). Από αυτά τα 3 μέλη, ένα απασχολείται (σύμφωνα με τον Πίνακα 11.2) και ένα άλλο θεωρείται απών κατά τη διάρκεια των ωρών εργασίας (μελέτη, κοινωνικοποίηση, ψώνια, εκτέλεση εργασιών ή συμμετοχή σε άλλες δραστηριότητες εκτός κατοικίας). Για τους σκοπούς αυτής της έρευνας και του πλαισίου μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται, αυτό μεταφράζεται πρακτικά σε δύο περίπου «εργαζόμενα» μέλη, δεδομένου ότι οι μη ενεργά απασχολούμενοι ηλικιωμένοι είναι εκτός πεδίου εφαρμογής λόγω της χαμηλότερης ψηφιακής εξοικείωσης τους (Castilla et al., 2018). Επίσης, αν και η χώρα διαθέτει τέσσερις κλιματικές ζώνες, η μελέτη επικεντρώνεται στις κλιματικές ζώνες Β και C (θερμότερες και ψυχρότερες περιοχές αντίστοιχα), οι οποίες καλύπτουν ουσιαστικά τις δύο μεγαλύτερες πόλεις της χώρας (Αθήνα και Θεσσαλονίκη), και συνεπώς την πλειοψηφία (75.07%) του πληθυσμού. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, τα δεδομένα από τον Πίνακα 11.2, και τις δυνατότητες μοντελοποίησης του DREEM, καθώς και για να αποφευχθεί η αύξηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, συγκεντρώσαμε τέσσερις τύπους νοικοκυριών για χρήση στην προσομοίωση, όπως συνοψίζεται στον Πίνακα 11.3. Συνοπτικά, αυτοί οι τύποι αντιπροσωπεύουν μονοκατοικίες τριών ατόμων (δύο εργαζόμενων γονέων και ενός ανήλικου παιδιού) σε κατοικίες που κατασκευάστηκαν πριν ή μετά το 1980 και βρίσκονται είτε στην κλιματική ζώνη Β είτε στην κλιματική ζώνη C.

Πίνακας 11.3. Παραδοχές για τις τέσσερις τυπολογίες αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

Τυπολογίες κτιρίων				
	Νοικοκυριό #1	Νοικοκυριό #2	Νοικοκυριό #3	Νοικοκυριό #4
Τύπος κτηρίου	Μονοκατοικία	Μονοκατοικία	Μονοκατοικία	Μονοκατοικία
Τοποθεσία	Κλιματική ζώνη Β (Θερμό μεσογειακό κλίμα)	Κλιματική ζώνη Β (Θερμό μεσογειακό κλίμα)	Κλιματική ζώνη Γ (Μεσογειακό κλίμα - ψυχρό ημίξηρο κλίμα)	Κλιματική ζώνη Γ (Μεσογειακό κλίμα - ψυχρό ημίξηρο κλίμα)
Έτος κατασκευής	<1980	1981-2000	<1980	1981-2000

Σύσταση Νοικοκυριού	Νοικοκυριό 3 μελών, αποτελούμενο από 2 εργαζόμενους γονείς και 1 παιδί (6-12)	Νοικοκυριό 3 μελών, αποτελούμενο από 2 εργαζόμενους γονείς και 1 παιδί (6-12)	Νοικοκυριό 3 μελών, αποτελούμενο από 2 εργαζόμενους γονείς και 1 παιδί (6-12)	Νοικοκυριό 3 μελών, αποτελούμενο από 2 εργαζόμενους γονείς και 1 παιδί (6-12)

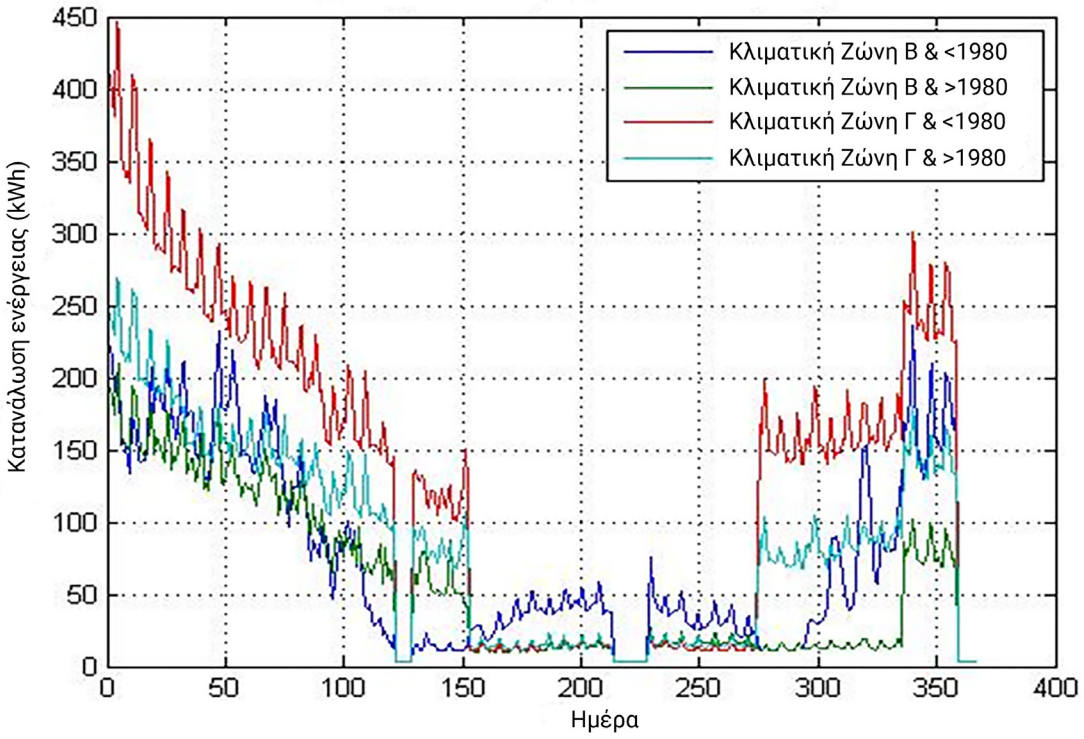
Εκτός από το σενάριο BAU που υποθέτει ότι δεν λαμβάνει χώρα καμία ενέργεια, εισάγεται ένα σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας, το οποίο αφορά τη χειροκίνητη ρύθμιση ενός θερμοστάτη σε χαμηλότερες/υψηλότερες θερμοκρασίες, ανάλογα με την εποχή, χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση (Gauthier and Shipworth, 2015). Η ενέργεια αυτή θεωρείται στοχαστικής φύσης για τους σκοπούς της προσομοίωσης, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα της ικανότητας ή της δέσμευσης ενός νοικοκυριού να εκτελέσει τη δράση.

Συγκεκριμένα, τα νοικοκυριά έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν τον θερμοστάτη τους από 3 έως 6 ώρες την ημέρα με βάση το προφίλ του νοικοκυριού και της ημέρας (π.χ., κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, αυξάνεται η πιθανότητα αυτή η προσαρμογή να πραγματοποιηθεί για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα). Αυτή η στοχαστική φύση της δράσης είναι σημαντική για να ληφθεί υπόψη η υπάρχουσα διακύμανση στα σημεία ρύθμισης των θερμοστατών που ορίζονται από διαφορετικούς χρήστες (ανάλογα με τις θερμικές προτιμήσεις του κάθε ατόμου), η οποία μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας (Ramos et al., 2020). Για τους σκοπούς της προσομοίωσης, το κόστος για έναν αναλογικό, μη προγραμματιζόμενο θερμοστάτη θεωρείται ότι είναι περίπου 20 ευρώ, ανεβάζοντας το συνολικό κόστος του συστήματος σε περίπου 80 εκατομμύρια ευρώ εάν οι θερμοστάτες αυτοί εγκατασταθούν και στα τέσσερα εκατομμύρια νοικοκυριά. Ωστόσο, η απλή εγκατάσταση των θερμοστατών δεν εξασφαλίζει την συμμετοχή των χρηστών. Αντλώντας από τη βιβλιογραφία (π.χ., York et al., 2015), λαμβάνεται υπόψη ένα ποσοστό συμμετοχής 50% (υπόθεση εισόδου), που σημαίνει ότι τα μισά νοικοκυριά θα ακολουθήσουν το σενάριο BAU χωρίς εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ τα άλλα μισά θα ακολουθήσουν το σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας. Πρακτικά σε όλα τα νοικοκυριά υπολογίζονται δύο σενάρια, το σενάριο αναφοράς και το σενάριο εξοικονόμησης, το οποίο σημαίνει ότι τα νοικοκυριά που δεν συμμετέχουν ενεργά υπολογίζονται και τα δύο σενάρια με βάση το BAU (άρα μηδενική εξοικονόμηση), ενώ στα νοικοκυριά που συμμετέχουν η εξοικονόμηση προκύπτει ως διαφορά των σεναρίων BAU και σενάριο εξοικονόμησης. Τέλος, οι δράσεις διαχείρισης ενέργειας που ενεργοποιούνται μέσω

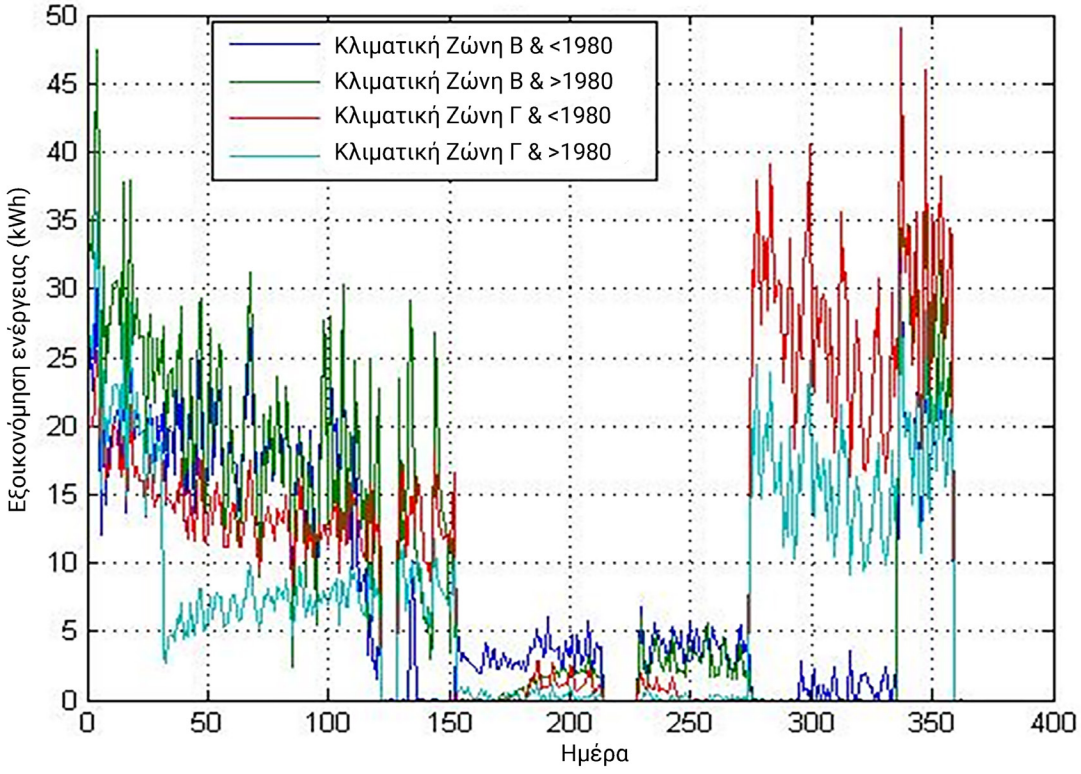
οικονομικών κινήτρων στοχεύουν να συμβάλουν με 5% στην εξοικονόμηση ενέργειας (Jamek et al., 2016; CRES, 2020), η οποία θεωρείται ότι αποτελεί το σημείο αναφοράς της ενεργειακής πολιτικής αυτής της έρευνας (στόχος που τίθεται στην εξίσωση ATOM, αλλά δεν επιβάλλεται στο μοντέλο DREEM).

11.3.3 Αποτελέσματα

Οι παράμετροι της προσομοίωσης τροφοδοτούνται στο μοντέλο DREEM, το οποίο εκτελεί την ανάλυση για τα τέσσερα νοικοκυριά και τα δύο σενάρια που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 11.3.2. Στην Εικόνα 11.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των σεναρίων για κάθε νοικοκυριό.



α) Σενάριο BAU



(β) Εξοικονόμηση ενέργειας στο σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας ως διαφορά από το BAU

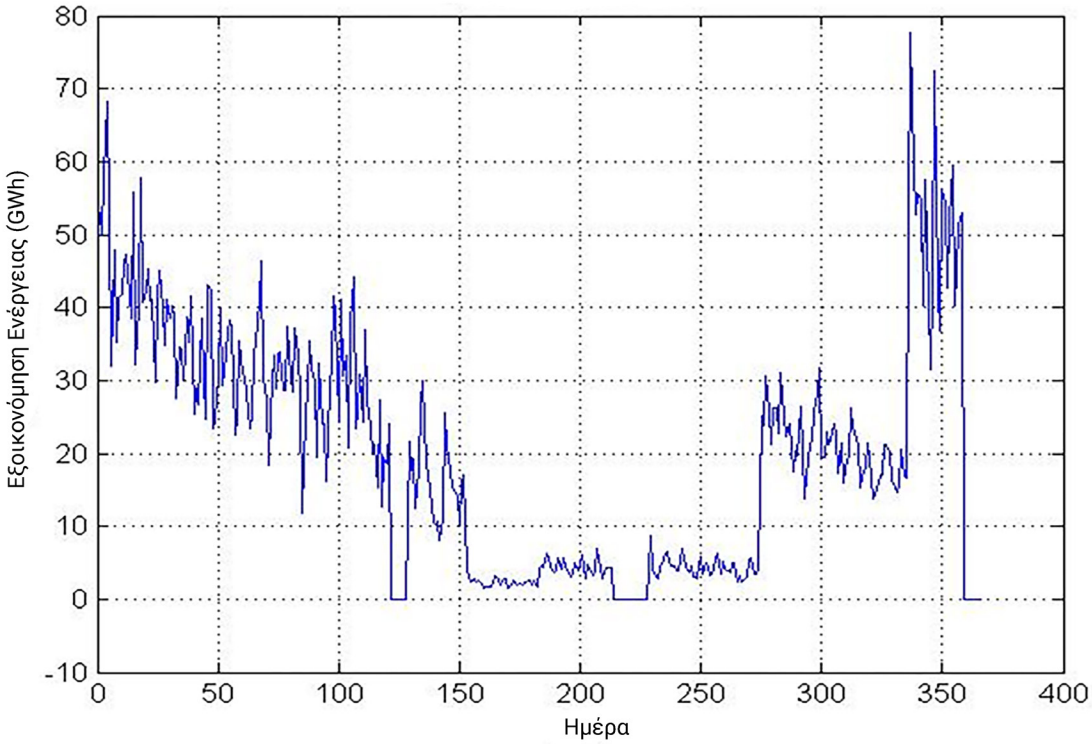
Εικόνα 11.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης (α) σεναρίου κατανάλωσης ενέργειας BAU και (β) εξοικονόμησης στο σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας και για τα τέσσερα νοικοκυριά.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.3α, η οποίο αποτυπώνει το σενάριο αναφοράς (BAU), τα υψηλότερα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας κατά τους ψυχρότερους μήνες, συμπεριλαμβανομένου του χειμώνα, του φθινοπώρου και μέρους της άνοιξης εμφανίζονται στο νοικοκυριό #3, που ζει σε κατοικία που βρίσκεται στην κλιματική ζώνη C και χτίστηκε πριν από το 1980. Αυτό είναι λογικό λόγω της υψηλότερης χρήσης συστημάτων θέρμανσης και των χαμηλότερων εξωτερικών θερμοκρασιών σε σύγκριση με την κλιματική ζώνη B, καθώς και λόγω των υψηλότερων απωλειών θερμότητας σε σύγκριση με νεότερες κατοικίες. Επιπλέον, η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται για το νοικοκυριό #1, σε κατοικία που βρίσκεται στην κλιματική ζώνη B και κατασκευάστηκε πριν από το 1980. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη χρήση κλιματισμού και στις υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες στην κλιματική ζώνη B σε σύγκριση με την κλιματική ζώνη Γ, καθώς και, πάλι, σε υψηλότερες απώλειες θερμότητας σε σύγκριση με τα σπίτια που χτίστηκαν μετά το 1980. Σημειώνουμε επίσης ότι η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από τον Οκτώβριο έως τον

Δεκέμβριο παρατηρείται στο Νοικοκυριό #2, που ζει σε νεότερο κτίριο στην κλιματική ζώνη Β, και το οποίο υποδηλώνει σχετικά υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες και χαμηλότερες θερμικές απώλειες σε σύγκριση με τις παλαιότερες κατοικίες.

Στην Εικόνα 11.3β αποτυπώνεται η ενέργεια που εξοικονομείται μετά την υλοποίηση της δράσης εξοικονόμησης ενέργειας, με τη χρήση θερμοστάτη στα τέσσερα νοικοκυριά (η εξοικονόμηση ενέργειας υπολογίζεται ως διαφορά επί του σεναρίου BAU). Κατά τους χειμερινούς μήνες και μέχρι τον Μάιο, όταν επικρατούν χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και στις δύο κλιματικές ζώνες, το Νοικοκυριό #2 πετυχαίνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, λόγω των μέτριων συνθηκών θερμοκρασίας, καθώς η διατήρηση της θερμικής άνεσης απαιτεί χαμηλότερη ενέργεια λόγω των χαμηλότερων απωλειών θερμότητας στις κατοικίες που χτίστηκαν πρόσφατα. Επιπλέον, δεδομένου ότι τα νοικοκυριά στην κλιματική ζώνη Β δεν χρησιμοποιούν τα συστήματα θέρμανσής τους μέχρι αργά στο φθινόπωρο, λόγω των υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών, η εξοικονόμηση ενέργειας στα νοικοκυριά #1 και #2 (ζώνη β) από τον Οκτώβριο έως τον Δεκέμβριο είναι αρκετά χαμηλή. Αντίθετα, το νοικοκυριό #3 επιτυγχάνει την υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας το τελευταίο τρίμηνο του έτους, καθώς η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας BAU παρέχει υψηλότερο περιθώριο (ή δυναμικό) για εξοικονόμηση ενέργειας.

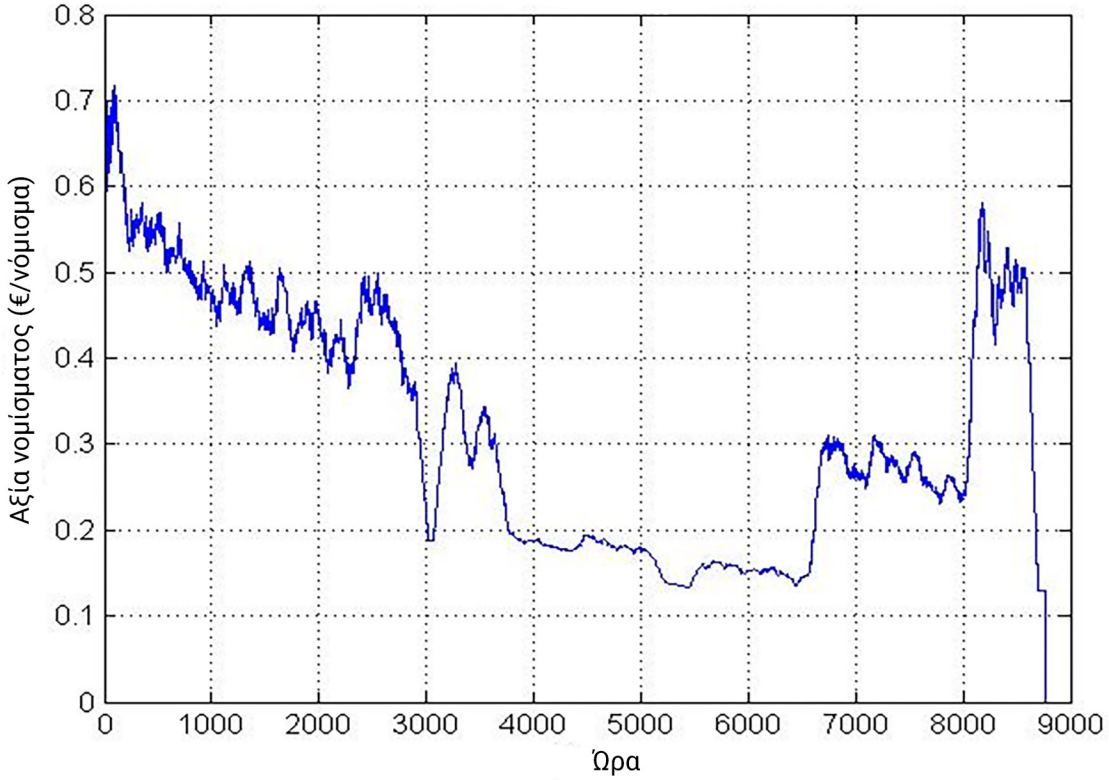
Με βάση τα στατιστικά στοιχεία που συλλέγονται στον Πίνακα 11.2, τα τέσσερα επιμέρους σενάρια ανάγονται σε εθνικό επίπεδο ώστε να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της επίδοσης σε συλλογικό επίπεδο, με βάση την παραμετροποίηση που περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο (Εικόνα 11.4). Διαπιστώνουμε ότι η δράση επιτυγχάνει ενεργειακή απόδοση 5.3% σε εθνικό επίπεδο, με την παραδοχή ποσοστού συμμετοχής 50%, ενώ, εάν συμμετάσχει, ένα μεμονωμένο νοικοκυριό μπορεί να επιτύχει κατά μέσο όρο περίπου 10% στη συνολική ενέργεια που καταναλώνει. Σε απόλυτες τιμές, και λαμβάνοντας υπόψιν το υψηλό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας που υπολογίστηκε στο σενάριο BAU εξαιτίας των περιορισμών που αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 11.3.2, και προσαρμόζοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με τα πλέον πρόσφατα διαθέσιμα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας που παρουσιάστηκαν, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται σε εθνικό επίπεδο εκτιμάται ότι μπορεί να ανέλθει σε περίπου 2.5TWh.



Εικόνα 11.4. Αναγωγή Σεναρίου Εξοικονόμησης Ενέργειας σε εθνικό επίπεδο.

Οι ανηγμένες έξοδοι του μοντέλου DREEM τροφοδοτούνται στη συνέχεια στο ATOM, όπου εκτελούνται οι υπολογισμοί για τον μηχανισμό επιβράβευσης. Η δυναμική τιμολόγηση της ισοτιμίας του νομίσματος απεικονίζεται στην Εικόνα 11.5. Η μέση τιμή της ισοτιμίας ATOM είναι 0.32€/νόμισμα, ενώ οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του νομίσματος είναι περίπου 2.31 και 0.13€/νόμισμα, αντίστοιχα. Με βάση τη μέση τιμή του νομίσματος και την προσαρμοσμένη αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας των 2.5TWh, αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια κεφαλαιοποίηση περίπου 800 εκατομμυρίων ευρώ για το συνολικό μηχανισμό επιβράβευσης, γεγονός που συνεπάγεται μέση ανταμοιβή ανά νοικοκυριό 200 ευρώ, ανάλογα με τις επιδόσεις τους όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας. Για τη μέγιστη τιμή, παρατηρήθηκε ότι στις πρώτες 10 ώρες του προγράμματος, οι τιμές των νομισμάτων είναι πολύ υψηλότερες από τις αναμενόμενες. Αυτό είναι αποτέλεσμα του χρόνου που απαιτείται από το νόμισμα για την εξισορρόπηση του βραχυπρόθεσμου παράγοντα, του κλάσματος από τον τύπο ATOM (Εξίσωση 11.1) που λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις μόνο για τις τελευταίες πέντε ημέρες, και ως εκ τούτου αυτές οι ώρες παραλείπονται από την ανάλυση. Ωστόσο, αυτή η περίοδος συναλλαγματικής προσαρμογής δεν ισχύει για κάθε νέο χρήστη που προστίθεται στο σύστημα

ετεροχρονισμένα και ισχύει μόνο κατά την αρχική έναρξη του προγράμματος, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο απώλειας ενδιαφέροντος των νέων χρηστών λόγω αυτής της καθυστέρησης.



Εικόνα 11.5. Ισοτιμία του ενεργειακού νομίσματος ATOM μετά την αναγωγή των αποτελεσμάτων του DREEM σε εθνικό επίπεδο.

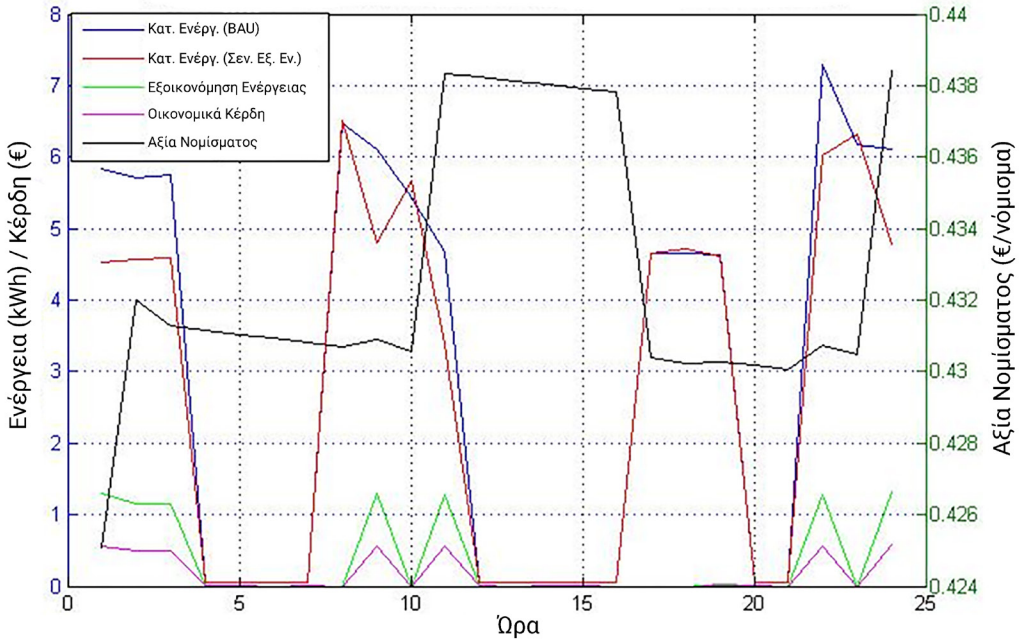
Με βάση την Εικόνα 11.5, η συναλλαγματική ισοτιμία του ATOM παρουσιάζει συσχέτιση με την καμπύλη εξοικονόμησης ενέργειας καθώς μεταβάλλεται ανάλογα με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, δεδομένου ότι στην παρούσα μελέτη η δράση εξοικονόμησης ενέργειας αφορά τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εντός των ορίων θερμικής άνεσης. Αυτό υποδηλώνει ότι το νόμισμα έχει την ικανότητα να ανταποκρίνεται σε εξωτερικά περιβαλλοντικά φαινόμενα (πχ., εξωτερικές θερμοκρασίες) και να τα ενσωματώνει στις διακυμάνσεις του. Στην περίπτωση αυτή, είχε τη δυνατότητα να εκφράσει την ικανότητα των χρηστών να εξοικονομήσουν ενέργεια μέσω μιας δράσης εξοικονόμησης ενέργειας από νομισματική άποψη. Εάν η νομισματοποίηση εφαρμοστεί για ένα ευρύτερο αριθμό ενεργειών και σε συνδυαστικό πλαίσιο, τα μοτίβα που διέπουν τις βασικές αλλαγές του νομίσματος θα μπορούσαν να δώσουν πληροφορίες και να επιτρέψουν τη νομισματική έκφραση των

συμπεριφορών της κοινότητας, ακόμα και αν τα αίτια που προκαλούν αυτές τις μεταβολές δεν είναι πάντα προφανή όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση.

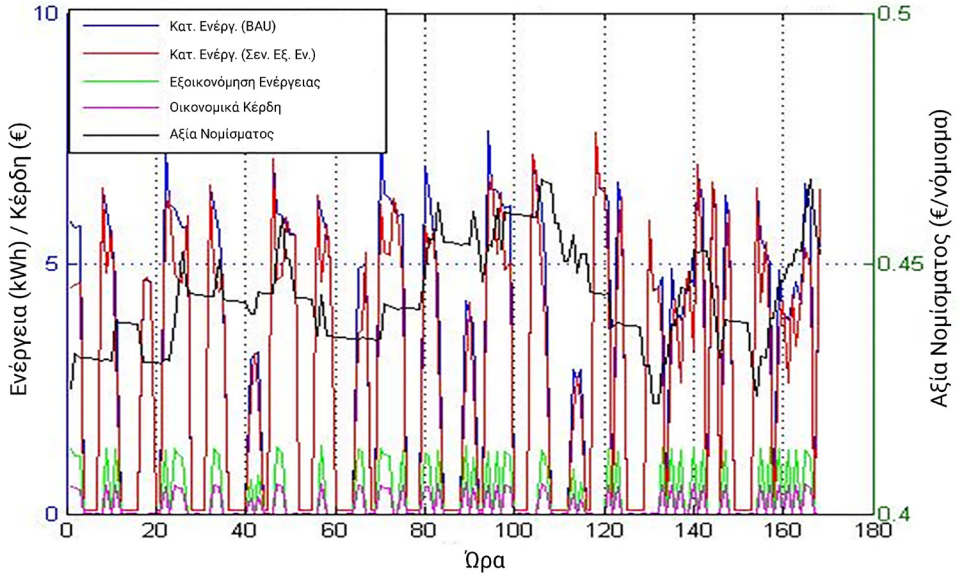
Σε αυτή την περίπτωση, και για την ατομική δράση εξοικονόμησης ενέργειας που εξετάζεται, μπορούν να εντοπιστούν ενδιαφέροντα μοτίβα συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, η ισοτιμία του νομίσματος έχει πτωτική τάση κατά τη διάρκεια της εβδομάδας πριν από το τέλος του προγράμματος (τέλος Δεκεμβρίου) έως ότου σταθεροποιηθεί σε αρκετά χαμηλή τιμή, ακολουθώντας την καμπύλη εξοικονόμησης ενέργειας για τις διακοπές των Χριστουγέννων. Παρά τη δυσκολία εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια των διακοπών των Χριστουγέννων, κατά την περίοδο πριν από τις διακοπές (περίπου ένα μήνα πριν από τη λήξη του προγράμματος) η συναλλαγματική ισοτιμία είναι υψηλή και φτάνει έως και τα 0.58€/νόμισμα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην υψηλότερη κατανάλωση θερμικής ενέργειας τον Δεκέμβριο, λόγω των χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών και της χρήσης συστημάτων θέρμανσης, και ως εκ τούτου στο μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό το μοτίβο παρατηρείται επίσης σε διαφορετικά επίπεδα και σε διαφορετικό βαθμό κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου και του Νοεμβρίου, όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες από ό, τι το καλοκαίρι, καθώς αυτή η περίοδος σηματοδοτεί την αρχή της αυξημένης χρήσης συστημάτων θέρμανσης. Ως εκ τούτου, η αξία του νομίσματος αυξάνεται σταδιακά σε σύγκριση με το καλοκαίρι, κυμαινόμενη μεταξύ 0.24-0.31€/κέρμα, ενώ η συναλλαγματική ισοτιμία τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο είναι σημαντικά χαμηλότερη από ό,τι τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση. Παρά τις υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες έξω κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που ενισχύουν τη χρήση συστημάτων κλιματισμού και τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη παραμένουν πολύ χαμηλότερες από αυτές τις θέρμανσης, μειώνοντας έτσι τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και, συνεπώς, την αξία του νομίσματος. Ωστόσο, εάν οι δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονταν συμπεριλάμβαναν δράσεις για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη θερινή περίοδο (π.χ. συντήρηση των μονάδων κλιματισμού), θα αναμένονταν διαφορετικά μοτίβα.

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 11.2.1, το μοντέλο ATOM, που έχει τροποποιηθεί ώστε να ενσωματώνει ωριαίες διακυμάνσεις για μια δεδομένη ημέρα, εφαρμόζεται για να παρέχει στο νόμισμα τη δυνατότητα να αντιπροσωπεύει επίσης δράσεις μετατόπισης φορτίου. Παρόλο που

το σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας δεν σχεδιάστηκε για να περιλαμβάνει άμεσα τέτοιες ενέργειες, η εμβάθυνση στην καθημερινή απόδοση του μοντέλου σε ένα μέσο νοικοκυριό παρέχει μια εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του μηχανισμού οικονομικού κέρδους για τη μετατόπιση φορτίου, όπως παρουσιάζεται με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο της Εικόνας 11.1. Η Εικόνα 11.6α επικεντρώνεται σε μια ημέρα στις αρχές Μαρτίου για ένα μέσο νοικοκυριό και παρουσιάζει το BAU, το σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας και την πραγματική εξοικονόμηση που επιτεύχθηκε, καθώς και τις διακυμάνσεις του νομίσματος και των κερδών. Οι περίοδοι αιχμής φορτίου για αυτήν την ημέρα του έτους είναι περίπου στις 8 π.μ. και στις 10 μ.μ., πράγμα που σημαίνει ότι τότε είναι ευκολότερο για τα νοικοκυριά να εξοικονομήσουν ενέργεια λόγω του υψηλότερου υπάρχοντος δυναμικού. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της πρωινής περιόδου αιχμής, ένα νοικοκυριό καταφέρνει να εξοικονομήσει ενέργεια στις 9 π.μ., ενώ το νόμισμα την ίδια στιγμή είχε τιμή περίπου 0.431€/νόμισμα, με την εξοικονόμηση αυτή να αυξάνει την τιμή του νομίσματος στα 0,438€/ νόμισμα. Αν και σε αυτή την περίπτωση δεν υπήρξε μετατόπιση φορτίου, το βασικό αποτέλεσμα της μελέτης περίπτωσης έγκειται στην αύξηση της ισοτιμίας μετά την εξοικονόμηση ενέργειας (υποθέτοντας ότι όλα τα νοικοκυριά συμπεριφέρονται σύμφωνα με τον σχεδιασμό του σεναρίου). Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και αν υπήρχε μετατόπιση φορτίου (δηλαδή, ότι μετά από μερικές ώρες το νοικοκυριό υπερέβη την ενέργεια BAU), ο χρήστης θα μπορούσε να αυξήσει τα κέρδη του λόγω των διακυμάνσεων των τιμών. Σε αυτή την περίπτωση, η ποσότητα της εξοικονομούμενης ενέργειας θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα επιπλέον κέρδος 0.007 € για εξοικονόμηση περίπου 1 kWh. Το κέρδος αυτό, όσο μικρό κι αν είναι, ισοδυναμεί σχεδόν με το 4% της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση ένα υποτιθέμενο οικιακό τιμολόγιο των 0.18 €/kWh, και ακόμη υψηλότερο αν συγκριθεί με την τιμή της ενέργειας με βάση την τιμή του φυσικού αερίου. Όταν εστιάζουμε στα εβδομαδιαία δεδομένα στην Εικόνα 11.6β, η συχνότητα της εξοικονομούμενης ενέργειας παρατηρείται να αυξάνεται κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων και, ως εκ τούτου, να ενισχύει τα κέρδη μέσω του νομίσματος ATOM, λόγω των μειωμένων δραστηριοτήτων των μελών του νοικοκυριού (π.χ. μειωμένες ώρες εργασίας/μελέτης, χρόνος εκτός οικίας κ.λπ.), παρέχοντας έτσι μεγαλύτερες δυνατότητες εξοικονόμησης.



α)



β)

Εικόνα 11.6. α) Ημερήσιες και β) Εβδομαδιαίες διακυμάνσεις των σεναρίων BAU και εξοικονόμησης ενέργειας και επιπτώσεις στη συναλλαγματική ισοτιμία και στα κέρδη

11.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Με βάση την προσομοίωση για τον οικιακό τομέα της Ελλάδας, παρατηρούμε ότι οι διακυμάνσεις του νομίσματος μπορούν να εκφράσουν μοτίβα συμπεριφοράς των τελικών χρηστών. Η ιδιότητα αυτή στη συγκεκριμένη περίπτωση εκφράστηκε ως το αποτύπωμα μιας θετικής συμπεριφοράς ενεργειακής απόδοσης τους χειμερινούς μήνες, και η οποία αντανακλάται σε υψηλότερες νομισματικές αξίες, ως αποτέλεσμα της ικανότητας του νομίσματος ATOM να αντιπροσωπεύει αλλαγές συμπεριφοράς που προκαλούνται και που, όταν εμφανίζονται, οδηγούν τους χρήστες στο να εξοικονομούν ενέργεια με βάση τις εξωτερικές θερμοκρασίες. Με αυτή την προσέγγιση, τέτοια μοτίβα μεταφράζονται σε νομισματικούς όρους, καθιστώντας ευκολότερη την ενσωμάτωση αυτών των σημαντικών κοινωνικών πτυχών στα ενεργειακά μοντέλα και, κατά συνέπεια, τη συμμετοχή στρατηγικών βασισμένων στις αλλαγές συμπεριφορών με πιο αναλυτικό τρόπο. Με την εφαρμογή περισσότερων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε ασκήσεις μοντελοποίησης, οι καμπύλες της ισοτιμίας ATOM έχουν τη δυνατότητα να ξεδιπλώσουν πρόσθετα μοτίβα, τα οποία δεν είναι πάντα προβλέψιμα όσον αφορά τον τρόπο συμπεριφοράς των καταναλωτών. Με αυτή την έννοια, και με βάση τον πρώτο ορισμό της νομισματοποίησης (έμφαση στην ποσοτικοποίηση των συμπεριφορών με νομισματικούς όρους) που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 11.2, αυτή η ποσοτικοποίηση της αλλαγής συμπεριφοράς για την ενεργειακή απόδοση σε νομισματικές μονάδες μπορεί να αξιοποιηθεί στον ενεργειακό σχεδιασμό, π.χ., σε αυτή την έρευνα, αυτό αναφέρεται στο μέτρο προσαρμογής του θερμοστάτη. Αλλά μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί όσον αφορά την προσαρμογή μεταβλητών που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση σε μοντέλα ενεργειακής και κλιματικής οικονομίας (Mundaca et al., 2010; Loulou et al., 2005; Trutnevyte et al., 2019), καθιστώντας έτσι ένα απαραίτητο βήμα στην εν μέρει αναπαράσταση της αλλαγής συμπεριφοράς στη μοντελοποίηση ποσοτικών συστημάτων για την ενεργειακή και κλιματική πολιτική (Mundaca et al., 2019).

Οι προσομοιώσεις μας υπολόγισαν ότι, σε εθνικό επίπεδο, η χρήση του μηχανισμού ATOM μέσω της εν λόγω δράσης με τη ρύθμιση των θερμοστατών μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 5.3% στη χώρα, εάν μόνο ο μισός πληθυσμός συμμετέχει ενεργά στο πλαίσιο/πρόγραμμα που περιεγράφηκε. Αυτό πλησιάζει πολύ, ακόμη και υπερτερεί, των πρόσφατων εκτιμήσεων για εξοικονόμηση ενέργειας από δράσεις παροχής κινήτρων στην Ελλάδα (ΚΑΡΕ, 2020), που έχουν οριστεί στο 5%. Οι προσομοιώσεις πρότειναν επίσης ότι, για τα νοικοκυριά που συμμετέχουν, αυτό θα αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας έως και 10%, η οποία

είναι κοντά σε άλλες εκτιμήσεις στη βιβλιογραφία. Ενδεικτικά, οι Wang et al. (2020) τόνισαν ότι η χρήση ενός έξυπνου θερμοστάτη μπορεί αντίθετα να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10%-30% ανά νοικοκυριό, με την ανάλυσή μας να τοποθετείται στο κάτω άκρο αυτού του διαστήματος για μεμονωμένα νοικοκυριά που συμμετέχουν ενεργά στη δράση, λόγω της χρήσης αναλογικής συσκευής. Με βάση παρόμοιες ενέργειες που απαιτούν τη συμμετοχή των χρηστών, οι Sovacool et al. (2017) είχαν εκτιμήσει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας από έξυπνους μετρητές στο Ηνωμένο Βασίλειο κυμαίνεται μεταξύ άλλων από 5-15%, γεγονός που δικαιολογείται, μεταξύ άλλων, από τους παράγοντες που οδηγούν στην αποτελεσματικότητα των έξυπνων μετρητών (π.χ. Bager και Mundaca, 2017). Τέλος, το αποτέλεσμά μας βρίσκεται εντός του συνήθους εύρους εξοικονόμησης του 5% και του 12% που πρότειναν οι Lopes et al. (2012), αντλώντας από τον Fischer (2008), βάσει μελετών επί 26 έργων.

Προσδιορίζουμε επίσης βασικά χαρακτηριστικά εισόδου που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα και, ως εκ τούτου, πρέπει να βελτιστοποιηθούν σε διαφοροποιημένα σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν πολλαπλές και πιο ποικίλες δράσεις διαχείρισης ενέργειας ή/και περιοχές. Συγκεκριμένα, λόγω της χρήσης ενός bottom-up μοντέλου που αντιπροσωπεύει λεπτομερώς έναν αριθμό κτιρίων, η επιλογή των κατοικιών αναφοράς καθώς και των βασικών δημογραφικών παραμέτρων είναι ζωτικής σημασίας για τη θέσπιση ενός αντιπροσωπευτικού βασικού σεναρίου. Αναγνωρίζουμε ότι πολλοί από τους συμβιβασμούς που έγιναν στην επιλογή τύπων κτιρίων αναφοράς, για χάρη της μείωσης της πολυπλοκότητας της μοντελοποίησης και της εξέτασης των δυνατοτήτων μοντελοποίησης αυτής της έρευνας, θα πρέπει να ξεπεραστούν για να αντιπροσωπεύσουν καλύτερα τα χαρακτηριστικά της κοινότητας. Αν και η διαδικασία επεξεργασίας των παραδοχών εισόδου μπορεί δυνητικά να αυξήσει τις υπολογιστικές ανάγκες για την προσομοίωση, η καλύτερη αναπαράσταση του κτιριακού αποθέματος και των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων θα αυξήσει περαιτέρω την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Πρόσθετοι τύποι νοικοκυριών μπορούν να κωδικοποιηθούν ώστε να περιλαμβάνουν πολυκατοικίες, οι οποίες στην περίπτωση της Ελλάδας αποτελούν σημαντική πτυχή του κτιριακού αποθέματος. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για τα νοικοκυριά με διαφορετικό αριθμό μελών για την καλύτερη προσέγγιση του εθνικού μέσου όρου. Λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων, τις επιφυλάξεις που συνδέουν τις υποθέσεις μας με τα λίγα νοικοκυριά αναφοράς, οι προσομοιώσεις μας οδήγησαν αρχικά σε υπερεκτίμηση του βασικού επιπέδου κατανάλωσης, το οποίο επιπλέον μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην τρέχουσα κατάσταση ενεργειακής φτώχειας στη χώρα. Ακόμη και στο βασικό σενάριο, το μοντέλο DREEM προσπαθεί

να διατηρήσει τη θερμική άνεση για τους τελικούς χρήστες. Ωστόσο, όπως και σε πολλές άλλες χώρες, στην Ελλάδα οι τελικοί χρήστες μπορεί να αναγκαστούν να θυσιάσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (Papada and Kalampiakos, 2020). Αυτό οδηγεί σε BAU σενάρια που καθοδηγούνται από την θερμική άνεση, τα οποία είναι λιγότερο ενδεικτικά της ρεαλιστικής και αντιπροσωπευτικής των πραγματικών αναγκών βάσης. Η επιλογή όμως αυτή ενός μοντέλου που βασίζεται στη θερμική άνεση είναι ωστόσο απαραίτητη και υποστηρίζεται υπό το πρίσμα της ενεργειακής φτώχειας παρά τον υπολογιστικό περιορισμό, καθώς ειδικά κατά την περίοδο της ενεργειακής κρίσης υπονοήθηκε προς τα νοικοκυριά η ρύθμιση του θερμοστάτη σε πολύ χαμηλά επίπεδα τους χειμερινούς μήνες καθώς και η ελάχιστη χρήση των κλιματιστικών το καλοκαίρι (Tett, 2022; Newell, 2022). Η χρήση λοιπόν μοντέλου βασισμένου στη θερμική άνεση συνοδευτικά με το μοντέλο ATOM εξασφαλίζει ότι τέτοια φαινόμενα «θυσίας» της θερμικής άνεσης δεν αναπαράγονται από το προτεινόμενο πλαίσιο και ενσωματώνουν ιδέες της «ενεργειακής δικαιοσύνης» (McCauley et al., 2019).

Ταυτόχρονα, στόχος μας ήταν να εξετάσουμε τη δυνατότητα εφαρμογής του μηχανισμού παροχής κινήτρων σε συμπεριφορικές αλλαγές και όχι να πραγματοποιήσουμε μια εξαντλητική, προσομοίωση για όλες τις πιθανές συμπεριφορικές αλλαγές. Με βάση λοιπόν τις συγκεκριμένες υποθέσεις και δράσεις που ακολουθήθηκαν, ως αυτόνομο σύστημα επιβράβευσης, με βάση την εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 2.5TWh, η κεφαλαιοποίηση του νομίσματος ανήλθε σε σχεδόν 800 εκατομμύρια ευρώ και παρείχε μέσο οικονομικό κίνητρο 200 ευρώ ανά νοικοκυριό. Αυτή η τιμή είναι πολύ κοντά στο μέσο μηνιαίο κόστος της ενέργειας σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες. Για παράδειγμα, αυτό είναι ελαφρώς υψηλότερο από το κόστος στις Ολλανδία (Aydin et al., 2019), όπου για μείωση ενέργειας κατά 10% η ανταμοιβή θα αντιστοιχούσε σε ένα αξιοσημείωτο 11% του ετήσιου λογαριασμού ενέργειας. Ο λόγος που συγκρίνουμε τα δεδομένα αυτά με την Ολλανδία είναι γιατί ειδικά για την πρόσφατη ενεργειακή κρίση φυσικού αερίου η αγορά της Ολλανδίας (TTF) έλαβε μεγάλη δημοσιότητα ως σημείο αναφοράς για την ευρωπαϊκή αγορά. Σε μια παρόμοια περίπτωση, ο Ito (2015) εφάρμοσε μια μείωση του λογαριασμού κατά 20% για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας 20% στις ΗΠΑ, βρίσκοντας μια θετική αιτιότητα μεταξύ της ανταμοιβής και της εξοικονόμησης ενέργειας σε ορισμένους τύπους νοικοκυριών, ειδικά σε αυτά με χαμηλότερο εισόδημα. Αυτό δείχνει ότι η χρηματική αποτίμηση της αλλαγής συμπεριφοράς, με βάση πλέον τον δεύτερο ορισμό που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 11.2, μπορεί να προσφέρει ανταμοιβή την οποία ορισμένες κατηγορίες καταναλωτών θεωρούν επαρκή για να προκαλέσουν αλλαγές

στη συμπεριφορά τους και να συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να αποτελεί πολύτιμη επιλογή πολιτικής προς εξέταση. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω εμπειρικά στοιχεία για την αξιολόγηση του επιπέδου παροχής κινήτρων που είναι κατάλληλο για διαφορετικούς καταναλωτές που διαθέτουν ποικίλα καταναλωτικά πρότυπα βάσει προσωπικών παραγόντων (Ibrahim et al., 2020), και εισοδημάτων (Lin et al., 2016). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη ότι η μείωση της ζήτησης δεν συμβαίνει αυτόματα απλώς με την ύπαρξη έξυπνων συσκευών, χωρίς στρατηγικό σχεδιασμό και στοχευμένη κοινωνική υποστήριξη (Darby, 2010).

Η κεφαλαιοποίηση του νομίσματος υπερέβη σχεδόν κατά δέκα φορές τον αρχικό προϋπολογισμό (80 εκατ. ευρώ). Αυτό οφείλεται στην υπερεκτίμηση του επιπέδου BAU, η οποία παρείχε μεγαλύτερες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε απόλυτες τιμές και το οποίο με τη σειρά του τονίζει περαιτέρω την απαίτηση για πιο αντιπροσωπευτικά σενάρια BAU (Hausfather and Peters, 2020; Grant et al., 2020). Ανεξάρτητα όμως από αυτό (και ειδικά δεδομένου ότι το φαινόμενο αντιμετωπίστηκε εντός της μεθοδολογίας), η ερμηνεία αυτής της υπερεκτίμησης ως πιθανής ακραίας κατάστασης που θα μπορούσε κάλλιστα να συμβεί στην πράξη λαμβάνοντας υπόψη τις αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες (Abd Alla et al., 2021), αντί να την αγνοεί ως απίθανη, παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητα του νομίσματος. Το ενδιαφέρον για την αστάθεια των ψηφιακών νομισμάτων όπως το Bitcoin (Yu et al., 2019) καθώς και ο αυξανόμενος αριθμός τομέων στους οποίους μπορούν να εφαρμοστούν άλλοι τύποι τέτοιων λύσεων, όπως πιο πρόσφατα τα μη ανταλλάξιμα διακριτικά ή μη εναλλάξιμα κρυπτοπαραστατικά (non-fungible token - NFT), απαιτούν μεγάλη προσοχή για συνθήκες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ακραίες τιμές. Στην περίπτωσή μας, η αύξηση της αξίας του νομίσματος ήταν δεκαπλάσια από τον προβλεπόμενο προϋπολογισμό, αλλά, εάν αφεθεί χωρίς ρύθμιση, τέτοιες διακυμάνσεις θα μπορούσαν να προκαλέσουν ακόμη ισχυρότερες διαταραχές στις αγορές. Η λογική της ενσωμάτωσης των ποσοτήτων ενέργειας με τα χρηματικά ποσά είναι μια θεμελιώδης ιδέα που γεφυρώνει ένα ζωτικό κοινωνικό αγαθό όπως η ενέργεια με το νομισματικό σύστημα. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να διαδραματίσει καίριο ρόλο, καθώς εξελίσσεται μια βιώσιμη μετάβαση και αυξάνεται η σημασία της παραγωγής, αποθήκευσης και χρήσης ενέργειας. Ωστόσο, υποστηρίζουμε ότι απαιτείται ρύθμιση τέτοιων ριζοσπαστικών καινοτομιών. Στην περίπτωση του ATOM, αυτό μεταφράζεται στην καθιέρωση του νομίσματος ως απλό μηχανισμό επιβράβευσης σε μια κοινότητα ή έναν πάροχο, αντί για ένα πλήρες συμπληρωματικό νόμισμα (ή ενεργειακό κρυπτονόμισμα). Αυτή είναι μια βασική προϋπόθεση

για να εξεταστεί θετικά η χρηματική αποτίμηση της αλλαγής συμπεριφοράς για τη στήριξη πολιτικών που στοχεύουν στην ενεργειακή απόδοση, προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιοι κίνδυνοι, ιδίως λαμβάνοντας υπόψη ότι η επίσημη τυποποίηση και η εφαρμογή ενός ρυθμιστικού πλαισίου μπορεί πραγματικά να αυξήσει την αποδοτικότητα της καινοτομίας (Blind et al., 2017).

11.5 Συμπεράσματα

Η συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας αναμένεται να διαδραματίσει καίριο ρόλο στην επίτευξη των μελλοντικών κλιματικών στόχων αν και υποεκπροσωπείται ευρέως στα αντίστοιχα σενάρια μοντελοποίησης (Nikas et al., 2020), παρά την τάση των ενδιαφερόμενων μερών να τονίζουν την αξία των μετασχηματισμών από την πλευρά της ζήτησης. Εκτός από τις συμβατικές παρεμβάσεις, οι οποίες κυριαρχούν στις δράσεις μετριασμού της ζήτησης, η αλλαγή συμπεριφοράς αποτελεί βασική πτυχή της ενεργειακής απόδοσης, δεδομένου ότι οι αλλαγές στα πρότυπα κατανάλωσης μπορούν να οδηγήσουν σε ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο ζωής και τις συνήθειες των τελικών χρηστών. Σε αυτό το κεφάλαιο, διερευνήσαμε κατά πόσον η νομισματοποίηση της αλλαγής συμπεριφοράς για την υποστήριξη της εξοικονόμησης και της χρηστής διαχείρισης ενέργειας στον οικιακό τομέα μπορεί να θεωρηθεί ως βιώσιμη επιλογή πολιτικής. Διαπιστώνουμε ότι μπορεί να συμβάλει τόσο στην ποσοτικοποίηση ποιοτικών και θεωρητικών (μη ποσοτικών) εννοιών σε νομισματικές μονάδες όσο και στη δημιουργία οικονομικών κερδών για τους καταναλωτές από ορισμένες ενέργειες. Διαπιστώνεται ότι παρέχει ένα επικερδές κίνητρο σε ορισμένες κατηγορίες τελικών χρηστών να μειώσουν στην πράξη την ενεργειακή τους κατανάλωση και επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό σημαντικών κοινωνικών πτυχών σε νομισματικές μονάδες για να τροφοδοτήσουν στη συνέχεια ασκήσεις μοντελοποίησης για την υποστήριξη της χάραξης ενεργειακής πολιτικής, αντιπροσωπεύοντας άμεσα αλλαγές συμπεριφοράς στον οικιακό τομέα.

Επισημαίνουμε επίσης ότι επί του παρόντος στην Ελλάδα υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας άνω του 5% (εκτιμάται σε περίπου 2.5 TWh), απλώς παρέχοντας κίνητρα στους χρήστες ώστε να ρυθμίζουν χειροκίνητα την εσωτερική τους θερμοκρασία μέσω ενός χαμηλού κόστους αναλογικού θερμοστάτη και λαμβάνοντας υπόψη ένα μέτριο ποσοστό συμμετοχής. Για τα νοικοκυριά, η εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να φθάσει έως και το 10% και το οικονομικό τους όφελος έως και 200 ευρώ κατά μέσο όρο. Ειδικότερα, από τη σκοπιά της εθνικής πολιτικής, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι ακόμη και μια στοχευμένη δράση

προσανατολισμένη στη συμπεριφορά μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων της πράσινης ανάκαμψης αλλά και οικονομικά, απαιτώντας πολύ λιγότερες αρχικές επενδύσεις κεφαλαίου από το συνολικό ποσό που προβλέπεται να διατεθεί για την ενεργειακή απόδοση στο πλαίσιο του σχεδίου ανάκαμψης και ανθεκτικότητας της χώρας. Επιπλέον, το εκτιμώμενο οικονομικό όφελος για τα νοικοκυριά που συμμετέχουν είναι πρόσθετο επί των χρημάτων που οι χρήστες θα αποφύγουν να πληρώσουν λόγω των περικοπών ενέργειας που επιτεύχθηκαν και άρα η συμβολή είναι διττή απέναντι στην κρίση τιμών ενέργειας, και μάλιστα με μια πιο ορθολογική και στοχευμένη χρήση πόρων από τις απλές επιδοτήσεις (που καταλήγουν να θεωρούνται επιδοτήσεις ορυκτών καυσίμων). Ως εκ τούτου, τα εν λόγω συστήματα ανταμοιβής όπως ο μηχανισμός επιβράβευσης ΑΤΟΜ θα μπορούσαν να δημιουργήσουν νέες ευκαιρίες για τους παράγοντες του ενεργειακού συστήματος, όπως οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, οι διαχειριστές συστημάτων διανομής, ώστε να ενισχύσουν τις ενεργειακές υπηρεσίες που παρέχουν στους τελικούς χρήστες, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τις υποχρεώσεις ενεργειακής απόδοσης με βάση το πλαίσιο των στόχων της ΕΕ (πχ, καθεστώτα επιβολής).

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 11

Abd Alla, S., Simoes, S. G., & Bianco, V. (2021). Addressing rising energy needs of megacities–Case study of Greater Cairo. Energy and Buildings, 236, 110789.

Alberts, G., Gurguc, Z., Koutroumpis, P., Martin, R., Muûls, M., & Napp, T. (2016). Competition and norms: A self-defeating combination?. Energy Policy, 96, 504-523.

Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 143-174.

Arcenegui, J., Arjona, R., & Baturone, I. (2020, October). Secure Management of IoT Devices Based on Blockchain Non-fungible Tokens and Physical Unclonable Functions. In International Conference on Applied Cryptography and Network Security (pp. 24-40). Springer, Cham.

Aydin, E., Correa, S. B., & Brounen, D. (2019). Energy performance certification and time on the market. Journal of Environmental Economics and Management, 98, 102270.

Azarova, V., Cohen, J. J., Kollmann, A., & Reichl, J. (2020). Reducing household electricity consumption during evening peak demand times: Evidence from a field experiment. Energy Policy, 144, 111657.

Bager, S., & Mundaca, L. (2017). Making 'Smart Meters' smarter? Insights from a behavioural economics pilot field experiment in Copenhagen, Denmark. Energy Research & Social Science, 28, 68-76.

Baldini, M., Trivella, A., & Wente, J. W. (2018). The impact of socioeconomic and behavioural factors for purchasing energy efficient household appliances: A case study for Denmark. Energy Policy, 120, 503-513.

Ballarini, I., Corgnati, S. P., & Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. Energy policy, 68, 273-284.

Barton, J., Davies, L., Dooley, B., Foxon, T. J., Galloway, S., Hammond, G. P., ... & Thomson, M. (2018). Transition pathways for a UK low-carbon electricity system: Comparing scenarios and technology implications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2779-2790.

Bastida, L., Cohen, J. J., Kollmann, A., Moya, A., & Reichl, J. (2019). Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103, 455-462.

Bielecki, S., Skoczkowski, T., Sobczak, L., Buchoski, J., Maciąg, Ł., & Dukat, P. (2021). Impact of the Lockdown during the COVID-19 Pandemic on Electricity Use by Residential Users. Energies, 14(4), 980.

Blind, K., Petersen, S. S., & Riillo, C. A. (2017). The impact of standards and regulation on innovation in uncertain markets. Research Policy, 46(1), 249-264.

Boemi, S. N., & Papadopoulos, A. M. (2019). Energy poverty and energy efficiency improvements: A longitudinal approach of the Hellenic households. Energy and Buildings, 197, 242-250.

Broad, O., Hawker, G., & Dodds, P. E. (2020). Decarbonising the UK residential sector: The dependence of national abatement on flexible and local views of the future. Energy Policy, 140, 111321.

Cambridge Dictionary. (2021). Monetization. Retrieved from: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/monetization

Casals, M., Gangolells, M., Macarulla, M., Forcada, N., Fuertes, A., & Jones, R. V. (2020). Assessing the effectiveness of gamification in reducing domestic energy consumption: Lessons learned from the EnerGAware project. Energy and Buildings, 210, 109753.

Castilla, D., Botella, C., Miralles, I., Bretón-López, J., Dragomir-Davis, A. M., Zaragoza, I., & Garcia-Palacios, A. (2018). Teaching digital literacy skills to the elderly using a social network with

linear navigation: A case study in a rural area. International Journal of Human-Computer Studies, 118, 24-37.

Chappin, É. J., Nikolic, I., & Yorke-Smith, N. (2020). Agent-based modelling of the social dynamics of energy end use. In Energy and Behaviour (p. 321-351). Academic Press.

Claeys, G., Tagliapietra, S., & Zachmann, G. (2019). How to make the European Green Deal work. Bruegel Policy Contribution, 13.

CRES. (2020). Supporting Material (in greek). Retrieved from: http://www.cres.gr/obs/yliko.html

da Silva, C., Barbosa-Póvoa, A. P., & Carvalho, A. (2020). Environmental monetization and risk assessment in supply chain design and planning. Journal of Cleaner Production, 270, 121552.

Darby, S. (2010). Smart metering: what potential for householder engagement?. Building Research & Information, 38(5), 442-457.

de Leon Barido, D. P., Suffian, S., Kammen, D. M., & Callaway, D. (2018). Opportunities for behavioral energy efficiency and flexible demand in data-limited low-carbon resource constrained environments. Applied Energy, 228, 512-523.

Dierksmeier, C., & Seele, P. (2018). Cryptocurrencies and business ethics. Journal of Business Ethics, 152(1), 1-14.

Doukas, H. (2022a). Energy Transition: "Another lost opportunity?". To VIMA. https://ecopress.gr/energeiaki-metavasi-mia-akoma-efkai/ [in Greek]

Doukas, H. (2022b). The way the scaling up of subsisies is not leading to energy efficiency. https://energypress.gr/news/h-doykas-o-tropos-poy-epivalletai-i-klimakoti-epidotisi-den-odigei-se-exoikonomisi-energeias [in Greek]

Doukas, H., Marinakis, V., Tsapelas, J., Sgouridis S. (2019). Intelligent energy management within the smart cities: an EU-GCC cooperation opportunity. Smart Cities in the Gulf, Palgrave Macmillan, Singapore, 123-147.

Doyle, F., & Cosgrove, J. (2018). An approach to optimising compressed air systems in production operations. International Journal of Ambient Energy, 39(2), 194-201.

ELSTAT. (2011). 2011 Population-Housing Census. Retrieved from: https://www.statistics.gr/en/2011-census-pop-hous.

ELSTAT. (2013). Energy Consumption in Households (SECH) / 2012. Retrieved from: https://www.statistics.gr/en/statistics/-/publication/SFA40/-.

ELSTAT. (2019). Greece in Figures. Retrieved from: https://www.statistics.gr/en/greece-in-figures.

European Commission. (2020). The Recovery and Resilience Facility. Retrieved from: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/recovery-coronavirus/recovery-and-resilience-facility_en.

European Commission. (2021). EU Buildings Database. Retrieved from: https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-database_en.

Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?. Energy efficiency, 1(1), 79-104.

Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. Energy, 170, 818-831.

Fraternali, P., Cellina, F., Gonzales, S. L. H., Melenhorst, M., Novak, J., Pasini, C., ... & Rizzoli, A. E. (2019). Visualizing and gamifying consumption data for resource saving: challenges, lessons learnt and a research agenda for the future. Energy Informatics, 2(1), 1-13.

Frilingou, N., Xexakis, G., Koasidis, K., Nikas, A., Campagnolo, L., Delpiazzo, E., ... & Doukas, H. (2023). Navigating through an energy crisis: Challenges and progress towards electricity decarbonisation, reliability, and affordability in Italy. Energy Research & Social Science, 96, 102934.

Galende-Sánchez, E., & Sorman, A. H. (2021). From consultation toward co-production in science and policy: A critical systematic review of participatory climate and energy initiatives. Energy Research & Social Science, 73, 101907.

Garbi, A., Malamou, A., Michas, N., Pontikas, Z., Doulamis, N., Protopapadakis, E., ... & Baradat, J. L. (2019). BENEFFICE: Behaviour change, consumption monitoring and analytics with complementary currency rewards. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 20, No. 1, p. 12).

Gauthier, S., & Shipworth, D. (2015). Behavioural responses to cold thermal discomfort. Building Research & Information, 43(3), 355-370.

Gil, L., & Bernardo, J. (2020). An approach to energy and climate issues aiming at carbon neutrality. Renewable Energy Focus, 33, 37-42.

Goodhew, J., Pahl, S., Goodhew, S., & Boomsma, C. (2017). Mental models: Exploring how people think about heat flows in the home. Energy research & social science, 31, 145-157.

Gota, S., Huizenga, C., Peet, K., Medimorec, N., & Bakker, S. (2019). Decarbonising transport to achieve Paris Agreement targets. Energy Efficiency, 12(2), 363-386.

Grant, N., Hawkes, A., Napp, T., & Gambhir, A. (2020). The appropriate use of reference scenarios in mitigation analysis. Nature Climate Change, 10(7), 605-610.

Greek Ministry of Finance. (2020). Strategic directions of the National Recovery and Resilience Plan. Retrieved from: http://www.opengov.gr/minfin/wp-content/uploads/downloads/2020/11/Greece-RRP-EN-1.pdf.

Grottera, C., La Rovere, E. L., Wills, W., & Pereira Jr, A. O. (2020). The role of lifestyle changes in low-emissions development strategies: an economy-wide assessment for Brazil. Climate Policy, 20(2), 217-233.

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., ... & Valin, H. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 C target and sustainable development goals without negative emission technologies. Nature energy, 3(6), 515-527.

Hainsch, K., Brauers, H., Burandt, T., Göke, L., von Hirschhausen, C. R., Kemfert, C., ... & Wealer, B. (2020). Make the European Green Deal real: Combining climate neutrality and economic recovery (No. 153). DIW Berlin: Politikberatung kompakt.

Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). Emissions–the 'business as usual' story is misleading. Nature, 577, 618-620.

Hellenic Ministry of Environment and Energy. (2014). Report on long-term strategy for mobilizing investment in the renovation of the national stock of residential and commercial buildings, both public and private. Retrieved from: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/GreekReportBuildingsArticle4_en.pdf.

Hellenic Republic. (2021). Greece 2.0 National Recovery and Resilience Plan. Retrieved from: https://primeminister.gr/wp-content/uploads/2021/03/Greece-2_0-April-2021.pdf

Henry, M. L., Ferraro, P. J., & Kontoleon, A. (2019). The behavioural effect of electronic home energy reports: Evidence from a randomised field trial in the United States. Energy Policy, 132, 1256-1261.

Hof, A. F., Carrara, S., De Cian, E., Pfluger, B., van Sluisveld, M. A., de Boer, H. S., & van Vuuren, D. P. (2020). From global to national scenarios: Bridging different models to explore power generation decarbonisation based on insights from socio-technical transition case studies. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119882.

Hong, T., D'Oca, S., Turner, W. J., & Taylor-Lange, S. C. (2015). An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. Building and Environment, 92, 764-777.

Hong, T., Langevin, J., Luo, N., & Sun, K. (2020). Developing quantitative insights on building occupant behaviour: Supporting modelling tools and datasets. In Energy and Behaviour (pp. 283-319). Academic Press.

Ibrahim, A., Ali, H., Abuhendi, F., & Jaradat, S. (2020). Thermal seasonal variation and occupants' spatial behaviour in domestic spaces. Building Research & Information, 48(4), 364-378.

IEA. (2021). Data and statistics. Retrieved from: https://www.iea.org/data-and-statistics.

Ito, K. (2015). Asymmetric incentives in subsidies: Evidence from a large-scale electricity rebate program. American Economic Journal: Economic Policy, 7(3), 209-37.

Jäger-Waldau, A., Kougias, I., Taylor, N., & Thiel, C. (2020). How photovoltaics can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 126, 109836.

Jamek, A., Pickl, N., Tretter, H., Böck, E., Marić, L., Bišćan, M., Delalic, B., Skema, R., Dimitrov, K. (2016). Document with general formulae of bottom-up methods to assess the impact of energy efficiency measures. Retrieved from: https://multee.eu/system/files/D2.1_Document%20with%20general%20formulae%20of%20bottom-up%20methods.pdf.

Jens, K., & Gregg, J. S. (2021). The impact on human behaviour in shared building spaces as a result of COVID-19 restrictions. Building Research & Information, 1-15.

Johnson, D., Horton, E., Mulcahy, R., & Foth, M. (2017). Gamification and serious games within the domain of domestic energy consumption: A systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 249-264.

Jones, E. C., & Leibowicz, B. D. (2019). Contributions of shared autonomous vehicles to climate change mitigation. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 72, 279-298.

Karamaneas, A., Koasidis, K., Frilingou, N., Xexakis, G., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). A stakeholder-informed modelling study of Greece's energy transition amidst an energy crisis: The role of natural gas and climate ambition. Renewable and Sustainable Energy Transition, 3, 100049.

Karlsson, K., Nørgård, J., Bermúdez, J. G., Balyk, O., Wackernagel, M., Glynn, J., & Kanudia, A. (2018). The Role of Population, Affluence, Technological Development and Diet in a Below 2 C World. In Limiting Global Warming to Well Below 2° C: Energy System Modelling and Policy Development (pp. 85-102). Springer, Cham.

Kokkoris, I. P., Bekri, E. S., Skuras, D., Vlami, V., Zogaris, S., Maroulis, G., ... & Dimopoulos, P. (2019). Integrating MAES implementation into protected area management under climate change: A fine-scale application in Greece. Science of The Total Environment, 695, 133530.

Kriegler, E., Bauer, N., Popp, A., Humpenöder, F., Leimbach, M., Strefler, J., ... & Edenhofer, O. (2017). Fossil-fueled development (SSP5): an energy and resource intensive scenario for the 21st century. Global environmental change, 42, 297-315.

Lee, H., Brown, C., Seo, B., Holman, I., Audsley, E., Cojocaru, G., & Rounsevell, M. (2019). Implementing land-based mitigation to achieve the Paris Agreement in Europe requires food system transformation. Environmental Research Letters, 14(10), 104009.

Levesque, A., Pietzcker, R. C., & Luderer, G. (2019). Halving energy demand from buildings: The impact of low consumption practices. Technological Forecasting and Social Change, 146, 253-266.

Li, F. G. (2017). Actors behaving badly: Exploring the modelling of non-optimal behaviour in energy transitions. Energy Strategy Reviews, 15, 57-71.

Lin, B., Wang, Z., Liu, Y., Zhu, Y., & Ouyang, Q. (2016). Investigation of winter indoor thermal environment and heating demand of urban residential buildings in China's hot summer–Cold winter climate region. Building and Environment, 101, 9-18.

Loga, T., Stein, B., & Diefenbach, N. (2016). TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable. Energy and Buildings, 132, 4-12.

Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Janda, K. B. (Eds.). (2019). Energy and Behaviour: Towards a Low Carbon Future. Academic Press.

Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2012). Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 4095-4104.

Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2015). Towards more effective behavioural energy policy: An integrative modelling approach to residential energy consumption in Europe. Energy Research & Social Science, 7, 84-98.

Lopes, M. A., Antunes, C. H., Reis, A., & Martins, N. (2017). Estimating energy savings from behaviours using building performance simulations. Building Research & Information, 45(3), 303-319.

Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtila, A., & Goldstein, G. (2005). Documentation for the TIMES model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). Retrieved from: https://iea-etsap.org/index.php/documentation.

Marinakis V., Doukas H., Karakosta C., Psarras J. (2013). An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector. Applied Energy, 101, 6-14.

Marinakis, V., Doukas, H., Koasidis, K., & Albuflasa, H. (2020a). From intelligent energy management to value economy through a digital energy currency: Bahrain city case study. Sensors, 20(5), 1456.

Marinakis, V., Doukas, H., Tsapelas, J., Mouzakitis, S., Sicilia, Á., Madrazo, L., & Sgouridis, S. (2020b). From big data to smart energy services: An application for intelligent energy management. Future Generation Computer Systems, 110, 572-586.

Mastrucci, A., Perez-Lopez, P., Benetto, E., Leopold, U., & Blanc, I. (2017). Global sensitivity analysis as a support for the generation of simplified building stock energy models. Energy and Buildings, 149, 368-383.

McCauley, D., Ramasar, V., Heffron, R. J., Sovacool, B. K., Mebratu, D., & Mundaca, L. (2019). Energy justice in the transition to low carbon energy systems: Exploring key themes in interdisciplinary research. Applied Energy, 233, 916-921.

McKenna, R., Hernando, D. A., ben Brahim, T., Bolwig, S., Cohen, J. J., & Reichl, J. (2021). Analyzing the energy system impacts of price-induced demand-side-flexibility with empirical data. Journal of Cleaner Production, 279, 123354.

Meng, S., Siriwardana, M., McNeill, J., & Nelson, T. (2018). The impact of an ETS on the Australian energy sector: An integrated CGE and electricity modelling approach. Energy Economics, 69, 213-224.

Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. Applied Energy, 210, 870-880.

Mihaylov, M., Jurado, S., Avellana, N., Van Moffaert, K., de Abril, I. M., & Nowé, A. (2014, May). NRGcoin: Virtual currency for trading of renewable energy in smart grids. In 11th International conference on the European energy market (EEM14) (pp. 1-6). IEEE.

Morgenstern, P., Raslan, R., & Huebner, G. (2016). Applicability, potential and limitations of staff-centred energy conservation initiatives in English hospitals. Energy Efficiency, 9(1), 27-48.

Morton, A., Reeves, A., Bull, R., & Preston, S. (2020). Empowering and Engaging European building users for energy efficiency. Energy Research & Social Science, 70, 101772.

Mulville, M., Jones, K., Huebner, G., & Powell-Greig, J. (2017). Energy-saving occupant behaviours in offices: change strategies. Building Research & Information, 45(8), 861-874.

Mundaca, L., Neij, L., Worrell, E., & McNeil, M. (2010). Evaluating energy efficiency policies with energy-economy models. Annual review of environment and resources, 35, 305-344.

Mundaca, L., Ürge-Vorsatz, D., & Wilson, C. (2019). Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 C.

Mundaca, L., Zhu, X., & Hackenfort, M. (2022). Behavioural insights for sustainable energy use. Energy Policy, 171, 113292.

Mylan, J. (2017). The Business of "Behaviour Change": Analysing the Consumer-Oriented Corporate Sustainability Journey of Low-Temperature Laundry. Organization & Environment, 30(4), 283-303.

Napp, T. A., Few, S., Sood, A., Bernie, D., Hawkes, A., & Gambhir, A. (2019). The role of advanced demand-sector technologies and energy demand reduction in achieving ambitious carbon budgets. Applied Energy, 238, 351-367.

Nelson, T., McCracken-Hewson, E., Sundstrom, G., & Hawthorne, M. (2019). The drivers of energy-related financial hardship in Australia–understanding the role of income, consumption and housing. Energy Policy, 124, 262-271.

Newell, J. L. (2022). Italian politics and Russia's invasion of Ukraine: Quo vadis?. Contemporary Italian Politics, 14(2), 115-117.

Niamir, L., Kiesewetter, G., Wagner, F., Schöpp, W., Filatova, T., Voinov, A., & Bressers, H. (2020). Assessing the macroeconomic impacts of individual behavioral changes on carbon emissions. Climatic change, 158(2), 141-160.

Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., Koasidis, K., Doukas, H., Casetti, G., … & Chiodi, A. (2021a). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. Science of the Total Environment, in press.

Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., Koasidis, K., Lund, H., Thellufsen, J. Z., ... & Doukas, H. (2021b). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. Energy, 215, 119153.

Nikas, A., Lieu, J., Sorman, A., Gambhir, A., Turhan, E., Baptista, B. V., & Doukas, H. (2020). The desirability of transitions in demand: Incorporating behavioural and societal transformations into energy modelling. Energy Research & Social Science, 70, 101780.

Norcross, J. C., Krebs, P. M., & Prochaska, J. O. (2011). Stages of change. Journal of clinical psychology, 67(2), 143-154.

Papada, L., & Kaliampakos, D. (2020). Being forced to skimp on energy needs: A new look at energy poverty in Greece. Energy Research & Social Science, 64, 101450.

Parag, Y., & Sovacool, B. K. (2016). Electricity market design for the prosumer era. Nature energy, 1(4), 1-6.

Pisello, A. L., Castaldo, V. L., Piselli, C., Fabiani, C., & Cotana, F. (2016). How peers' personal attitudes affect indoor microclimate and energy need in an institutional building: Results from a continuous monitoring campaign in summer and winter conditions. Energy and Buildings, 126, 485-497.

Poblete-Cazenave, M., Pachauri, S., Byers, E., Mastrucci, A., & van Ruijven, B. (2021). Global scenarios of household access to modern energy services under climate mitigation policy. Nature Energy, 6, 824–833.

Prete, M. I., Piper, L., Rizzo, C., Pino, G., Capestro, M., Mileti, A., ... & Guido, G. (2017). Determinants of Southern Italian households' intention to adopt energy efficiency measures in residential buildings. Journal of cleaner production, 153, 83-91.

Ramos, G., Lamberts, R., Abrahão, K. C., Bandeira, F. B., Barbosa Teixeira, C. F., Brito de Lima, M., ... & Xavier, A. A. (2020). Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings. Building Research & Information, 1-16.

Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., ... & Lawrence, D. (2019). Contribution of the land sector to a 1.5 C world. Nature Climate Change, 9(11), 817-828.

Sgouridis, S., & Kennedy, S. (2010). Tangible and fungible energy: Hybrid energy market and currency system for total energy management. A Masdar City case study. Energy Policy, 38(4), 1749-1758.

Sommer, M., & Kratena, K. (2020). Consumption and production-based CO2 pricing policies: macroeconomic trade-offs and carbon leakage. Economic Systems Research, 32(1), 29-57.

Sovacool, B. K. (2014). Diversity: Energy studies need social science. Nature News, 511(7511), 529.

Sovacool, B. K., Kivimaa, P., Hielscher, S., & Jenkins, K. (2017). Vulnerability and resistance in the United Kingdom's smart meter transition. Energy Policy, 109, 767-781.

Spiliotis, E., Arsenopoulos, A., Kanellou, E., Psarras, J., & Kontogiorgos, P. (2020). A multi-sourced data based framework for assisting utilities identify energy poor households: a case-study in Greece. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 15(2), 49-71.

Spyridaki, N. A., Stavrakas, V., Dendramis, Y., & Flamos, A. (2020). Understanding technology ownership to reveal adoption trends for energy efficiency measures in the Greek residential sector. Energy Policy, 140, 111413.

Stavrakas, V., & Flamos, A. (2020). A modular high-resolution demand-side management model to quantify benefits of demand-flexibility in the residential sector. Energy Conversion and Management, 205, 112339.

Stazi, F., Naspi, F., & D'Orazio, M. (2017). A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings. Building and Environment, 118, 40-66.

Sunstein, C. R. (1997). Free markets and social justice. Oxford University Press on Demand.

Süsser, D., Ceglarz, A., Gaschnig, H., Stavrakas, V., Flamos, A., Giannakidis, G., Lilliestam, J. (2021). Model-based policymaking or policy-based modelling? How energy models and energy policy interact. Energy Research & Social Science, 75, 101984.

Tett, G. (2022). Western voters face a choice: peace in Ukraine or keeping on the air con. Financial Times. https://www.ft.com/content/4701a06d-19aa-4e8d-ae78-d685bcc11ecc

Thomas, S., & Rosenow, J. (2020). Drivers of increasing energy consumption in Europe and policy implications. Energy Policy, 137, 111108.

Trutnevyte, E., Hirt, L. F., Bauer, N., Cherp, A., Hawkes, A., Edelenbosch, O. Y., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Societal transformations in models for energy and climate policy: the ambitious next step. One Earth, 1(4), 423-433.

Urquizo, J., Calderón, C., & James, P. (2018). Understanding the complexities of domestic energy reductions in cities: Integrating data sets generally available in the United Kingdom's local authorities. Cities, 74, 292-309.

van de Ven, D. J., González-Eguino, M., & Arto, I. (2018). The potential of behavioural change for climate change mitigation: A case study for the European Union. Mitigation and adaptation strategies for global change, 23(6), 853-886.

van den Berg, N. J., Hof, A. F., Akenji, L., Edelenbosch, O. Y., van Sluisveld, M. A., Timmer, V. J., & van Vuuren, D. P. (2019). Improved modelling of lifestyle changes in Integrated Assessment Models: Cross-disciplinary insights from methodologies and theories. Energy Strategy Reviews, 26, 100420.

Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E., Van Den Berg, M., Bijl, D. L., De Boer, H. S., ... & van Sluisveld, M. A. (2018). Alternative pathways to the 1.5 C target reduce the need for negative emission technologies. Nature climate change, 8(5), 391-397.

Wang, C., Pattawi, K., & Lee, H. (2020). Energy saving impact of occupancy-driven thermostat for residential buildings. Energy and Buildings, 211, 109791.

Wetter, M. (2011). Co-simulation of building energy and control systems with the building controls virtual test bed. Journal of Building Performance Simulation, 4, 185-203.

York, D., Nadel, S., Rogers, E., Cluett, R., Kwatra, S., Sachs, H., ... & Kelly, M. (2015, September). New Horizons for Energy Efficiency: Major Opportunities to Reach Higher Electricity Savings by 2030. American Council for an Energy-Efficient Economy.

Yu, J. H., Kang, J., & Park, S. (2019). Information availability and return volatility in the bitcoin market: analyzing differences of user opinion and interest. Information Processing & Management, 56(3), 721-732.

ΕΝΟΤΗΤΑ V.
ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κεφάλαιο 12. Συμπεράσματα και προοπτικές

12.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων και τελικά συμπεράσματα

Η κλιματική κρίση αποτελεί αναμφισβήτητα μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που η ανθρωπότητα καλείται να επιλύσει τις επόμενες δεκαετίες. Σε επίπεδο κλιματικής δράσης, έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα υφιστάμενες πολιτικές και δεσμεύσεις που έχουν ληφθεί να μας έχουν φέρει πιο κοντά στην επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού. Σημαντικό μέρος αυτής της προόδου αποδίδεται στα σύγχρονα επιστημονικά πρότυπα υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, τα οποία βασίζονται σε μοντέλα ενέργειας-κλίματος-οικονομίας όπως τα ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης (IAMs), και τα οποία έχουν καθοδηγήσει τη λήψη αποφάσεων μέσα από την παραγωγή βιώσιμων μονοπατιών ικανών να επιτύχουν τους μακροπρόθεσμους στόχους που καθορίζονται από τη διεθνή κλιματική διπλωματία. Παρά την πρόοδο αυτή, ωστόσο, ο δρόμος για την επίτευξη των παραπάνω στόχων ενέχει σημαντικές δυσκολίες στην υλοποίηση και απαιτεί πρωτοφανή ταχύτητα στην πραγματοποίηση δράσεων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Απροσδόκητα, σε αυτή τη διόλου εύκολη μάχη ήρθαν να προστεθούν σημαντικές δυσκολίες υπό τη μορφή διαδοχικών κρίσεων. Πρώτα η πανδημία της COVID-19 και η απόκριση σε αυτήν μέσω περιορισμών ώστε να μειωθεί η διάδοση της νόσου, και στη συνέχεια οι γεωπολιτικές εξελίξεις ως απόρροια της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία και η συνεπακόλουθη ενεργειακή κρίση, ήρθαν να διαταράξουν κοινωνικές ισορροπίες, να προκαλέσουν απώλειες θέσεων εργασίας, και να επιβαρύνουν οικονομίες αλλά και πολίτες που είδαν τις τιμές ενέργειας να αυξάνονται σε δυσθεώρητα ύψη και έναν πληθωρισμό να καλπάζει. Ως εκ τούτου η δράση για το κλίμα δεν έμεινε ανεπηρέαστη από αυτές τις εξελίξεις. Πακέτα χρηματοοικονομικής ενίσχυσης για την αντιμετώπιση και την ανάκαμψη των οικονομιών από την πανδημία κατευθύνθηκαν σε μεγάλο βαθμό σε συμβατικές επενδύσεις χωρίς κλιματικά κριτήρια (σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και σε επενδύσεις ορυκτών καυσίμων), ενώ προσπάθειες για πράσινη ανάκαμψη δεν αποτέλεσαν τον κανόνα ή την πλειοψηφία αυτών των πακέτων παρά τις σχετικές ρητορικές. Ταυτόχρονα, ως αποτέλεσμα της ενεργειακής κρίσης και των υψηλών τιμών του φυσικού αερίου παρατηρήθηκε το παράδοξο να ενθαρρύνονται επενδύσεις σε ορυκτά καύσιμα παρόμοιας λογικής αλλά διαφορετικού τύπου, όπως για παράδειγμα το υγροποιημένο φυσικό αέριο, αυξάνοντας τον κίνδυνο να δημιουργηθούν περιουσιακά στοιχεία που θα χάσουν γρήγορα

την αξία τους (stranded assets) και να αναπτυχθούν μηχανισμοί κλειδώματος σε μη βιώσιμα μονοπάτια.

Σε επιστημονικό επίπεδο, οι εξελίξεις αυτές ήρθαν να φανερώσουν αδυναμίες των υφιστάμενων προτύπων υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων, καθώς η επιστημονική κοινότητα δεν κατάφερε να συνεισφέρει σημαντικά στη δημόσια συζήτηση, με αποφάσεις να λαμβάνονται με ταχύτατους ρυθμούς χωρίς πάντοτε την απαραίτητη επιστημονική καθοδήγηση. Οι αδυναμίες αυτές συνοψίζονται στο τρίπτυχο «επικαιρότητα, ρεαλισμός και συνάφεια», με πολλές αναλύσεις με τη χρήση μοντέλων να πραγματοποιούνται με μεγάλη καθυστέρηση, να περιλαμβάνουν υποθέσεις εργασίας σε ένα ρευστό περιβάλλον που σύντομα τις κατέστησαν ανεπίκαιρες ή/και διαψεύστηκαν, και πολλές φορές να πραγματεύονται ερωτήματα που δεν αντιπροσώπευαν καν τις ανάγκες της κοινωνίας.

Υπό αυτό το πρίσμα, σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν να απαντήσει το κομβικό ερώτημα της εποχής αναφορικά με το «*πώς μπορούμε να υποστηρίξουμε αποτελεσματικά αποφάσεις ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων ενέργειας-κλίματος-οικονομίας σε περιόδους κρίσεων;*». Για να απαντηθεί το συγκεκριμένο ερώτημα διαμορφώθηκε ένα νέο υπόδειγμα υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, βασισμένο σε μια πολυσταδιακή διαδικασία διεπιστημονικής μοντελοποίησης ούτως ώστε να είναι προσαρμοσμένο στις σύγχρονες προκλήσεις των αλληλεπικαλυπτόμενων και διαφορετικής προέλευσης και εντάσεως διαταραχών και κρίσεων. Συγκεκριμένα, το υπόδειγμα ενσωμάτωσε γνώση από μεθοδολογίες των κοινωνικών επιστημών, ενέπλεξε στη διαδικασία ενδιαφερόμενα μέρη, για να οδηγήσει στο τέλος στη μοντελοποίηση κομβικών ερωτημάτων στο σύγχρονο περιβάλλον των κρίσεων, αντιμετωπίζοντας αδυναμίες των υφιστάμενων προτύπων.

Ειδικότερα, η Ενότητα ΙΙ παρουσίασε ένα σύνολο από τέσσερις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις σε επτά χώρες και για τέσσερις διαφορετικούς τομείς, συγκεκριμένα του βιομηχανικού τομέα της Γερμανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου (Κεφάλαιο 3), του τομέα μεταφορών της Νορβηγίας και του Καναδά (Κεφάλαιο 4), του τομέα ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας (Κεφάλαιο 5), και του τομέα βιοκαυσίμων και μεταφορών της Βραζιλίας και της Αργεντινής (Κεφάλαιο 6). Οι κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις μέσα από μια τυποποιημένη διαδικασία συλλογής δευτερογενών βιβλιογραφικών και στατιστικών δεδομένων συνιστούν ένα σημαντικό εργαλείο που συνέβαλε μέσα από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις στο να κατανοήσουμε την ιστορική εξέλιξη παρελθοντικών μεταβάσεων και τη συστημική διαμόρφωση καθεστώτων τα οποία ενισχύουν ή

εμποδίζουν την διείσδυση τεχνολογιών και καινοτομιών, ειδικότερα υπό το πρίσμα ενός συνόλου από κρίσεις, πιέσεις και διαταραχές.

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, η διατριβή μέσω της Ενότητας ΙΙ συνέβαλλε με την δημιουργία δύο νεών επεκτάσεων μεθοδολογιών της θεωρίας μεταβάσεων και των κοινωνικοτεχνικών αναλύσεων.

Αρχικά παρουσίασε μια ενοποίηση του συστήματος καινοτομίας τομέων (SIS) με το πλαίσιο συστημικών σφαλμάτων. Η ενοποίηση αυτή συνιστά σημαντική βελτίωση στο σύστημα καινοτομίας τομέων, καθώς επιτρέπει την κατανόηση όχι μόνο των συστημικών διαμορφώσεων εντός του οποίου διαχέονται οι καινοτομίες, αλλά μπορεί να εντοπίζει σημεία αδυναμίας εντός του συστήματος τα οποία θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως εμπόδια στη μελλοντική αναπαραγωγή του στο δρόμο προς τη βιωσιμότητα. Ταυτόχρονα η ενοποίηση αυτή αποδείχθηκε κατάλληλη για τη μελέτη τομέων υπό συρρίκνωση, κάτι που δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής στη θεωρία μεταβάσεων.

Στη συνέχεια, παρουσιάστηκε μια ενοποίηση του Τεχνολογικού Συστήματος Καινοτομίας (TIS) με το πλαίσιο Πολυεπίπεδης Ανάλυσης (MLP) που παρότι είχε προταθεί στο παρελθόν, δεν είχε διαμορφωθεί με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτει τις ανάγκες τομέων που χαρακτηρίζονται από πολλαπλά υποκαθεστώτα, όπως ο τομέας των μεταφορών. Μάλιστα, μέσα από την εν λόγω ενοποίηση διαφάνηκε μια νέα τάση στην τοποθέτηση καινοτομιών εντός των τριών επιπέδων του MLP, με την μέχρι τώρα μεθοδολογία να τις τοποθετεί είτε στο μικρο- είτε στο μέσο-επίπεδο, και τη μεθοδολογία μας να αποδεικνύει ότι δύνανται τεχνολογίες να επιβιώνουν στα σύνορα του θεωρητικού ορίου των δύο επιπέδων.

Σε εμπειρικό επίπεδο, η διατριβή μέσω της Ενότητας ΙΙ συνέβαλε αυξάνοντας την κατανόηση μας για τις μεταβάσεις βιωσιμότητας με έμφαση στην επίδραση των κρίσεων.

Αρχικά στοιχειοθέτησε την αναγνώριση πάνω από 15 μεταβατικών εμποδίων (bottlenecks) προερχόμενων από πολιτικές, κοινωνικές, τεχνολογικές, οικονομικές, κοινωνικο-οικονομικές, κοινωνικο-περιβαλλοντικές διαστάσεις, τα οποία ήταν σχετικά και κοινά για το σύνολο των μελετών περίπτωσης στις χώρες και τους τομείς που μελετήθηκαν (το σύνολο των εμποδίων, συμπεριλαμβανομένων των μη κοινών, που αναγνωρίστηκαν ανήλθε στα 89) και που δύνανται να ανακόψουν την πορεία των μεταβάσεων προς τη βιωσιμότητα. Τα αναγνωρισμένα αυτά

εμπόδια, αποτέλεσαν έμπνευση και καθοδήγηση για ένα σύνολο αναλύσεων με χρήση μοντέλων που ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Επίσης, δόθηκε έμφαση σε φαινόμενα που παρατηρούνται μετά τις κρίσεις και περιστρέφονται γύρω από την ανάκαμψη και την επιστροφή στα προ κρίσης παρελθοντικά μοτίβα (rebounds), όπου εντοπίστηκε πληθώρα παραδειγμάτων με την εμφάνιση τέτοιων φαινομένων, όχι μόνο σε επίπεδο εκπομπών ή συνολικής κατανάλωσης που αποτελούν βασικούς δείκτες τέτοιων φαινομένων, αλλά και σε πιο εξειδικευμένες μετρικές που αναδεικνύουν περαιτέρω το εύρος επίδρασης των rebounds. Χαρακτηριστικά, είδαμε ότι η προστιθέμενη αξία του βιομηχανικού τομέα της Γερμανίας παρουσίασε μια στιγμιαία πτώση μετά την οικονομική κρίση του 2008 (ύστερα από μια πρότερη περίοδο ανόδου), για να επιστρέψει πολύ σύντομα στα προ κρίσης επίπεδα. Η ένταση εκπομπών του βιομηχανικού τομέα του Ηνωμένου Βασιλείου αντίθετα παρουσίασε παρόμοια φαινόμενα, με μια άμεση άνοδο μετά την κρίση, επανερχόμενη στα προ κρίσης επίπεδα μετά από λίγα χρόνια. Ταυτόχρονα, σε μια διαφορετική λογική, η αντίστοιχη κρίση δεν ήταν ικανή να διαταράξει την σταδιακή αύξηση του ΑΕΠ του τομέα μεταφορών του Καναδά μακροπρόθεσμα. Τα εν λόγω παραδείγματα, κατέδειξαν ότι συζητήσεις γύρω από την θετική περιβαλλοντική επίδραση της COVID-19 στη μείωση εκπομπών ήταν έωλες, δείχνοντας μάλιστα ότι τα rebounds μπορούν να εμφανιστούν και σε επιμέρους εξειδικευμένους δείκτες που οδηγούν τις εκπομπές, όπως η προστιθέμενη αξία ενός τομέα, και που σε αυτήν την περίπτωση οι εκπομπές ανακάμπτουν άμεσα.

Μια άλλη σχετική έννοια που αναδείχθηκε ως κομβική στις σχετικές μεταβάσεις σε περιόδους κρίσης, ήταν αυτή του «παραθύρου» ευκαιρίας, ενός φαινομένου που τα μοντέλα δυσκολεύονται να διαχειριστούν. Τα παράθυρα ευκαιρίας συνίστανται σε ρωγμές που προκαλούνται σε κυρίαρχα καθεστώτα ως αποτέλεσμα κρίσεων και αντίστοιχων σχετικών πιέσεων, και επιτρέπουν σε καινοτομίες να διεισδύσουν σε ένα σύστημα και πιθανώς να διαταράξουν τις ισορροπίες. Υπό αυτό το πρίσμα, είθισται να ακούγεται η έκφραση «οι κρίσεις δημιουργούν ευκαιρίες», το οποίο στα πλαίσια της κλιματικής δράσης αφορά ευκαιρίες για τεχνολογίες καθαρών εκπομπών που, ως αποτέλεσμα των κρίσεων, μπορούν να επιταχύνουν την πράσινη μετάβαση. Αυτό που διαπιστώσαμε όμως στα πλαίσια των κοινωνικοτεχνικών ανασκοπήσεων είναι ότι μια τέτοια πορεία δεν είναι δεδομένη. Αντίθετα πολλές φορές τα παράθυρα ευκαιρίας μπορούν να αξιοποιηθούν από υφιστάμενες δομές/φορείς/τεχνολογίες του κυρίαρχου συστήματος προκειμένου να διαιωνίσουν την κυριαρχία τους, όπως τα ορυκτά καύσιμα στην

περίπτωση μας. Τέτοιες περιπτώσεις είδαμε να εμφανίζονται στην περίπτωση της Ελλάδας ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης και μιας μακράς προσπάθειας απολιγνιτοποίησης, όπου εν τέλει το φυσικό αέριο ήταν αυτό που αναδείχθηκε νικητής, δημιουργώντας ένα νέο καθεστώς που στην πορεία προς την βιωσιμότητα θα πρέπει να διαταραχθεί εκ νέου (σε αντίθεση με μια πορεία χρήσης του ως μεταβατικού καυσίμου). Προς επίρρωση της συγκεκριμένης τάσης, η συγκριτική ανάλυση του τομέα των βιοκαυσίμων και των μεταφορών σε Αργεντινή και Βραζιλία ανέδειξε ακόμα περισσότερο τέτοιες δυναμικές. Συγκεκριμένα διαπιστώσαμε ότι ως αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης η Βραζιλία αξιοποίησε το παράθυρο ευκαιρίας για να προωθήσει τεχνολογίες βιοκαυσίμων—τα οποία βιοκαύσιμα είδαμε να αποδίδουν επίσης στη Νορβηγία ως συμπληρωματικά με στην ηλεκτροκίνηση λειτουργώντας ως αντίβαρο σε φαινόμενα rebounds εξαιτίας των τελευταίων (π.χ., αύξηση επιβατοχιλιομέτρων)—ενώ η Αργεντινή επέλεξε να στηρίξει λύσεις βασισμένες στο φυσικό αέριο. Μέσα από μια σειρά διαδοχικών κρίσεων της περιοχής αλλά και εναλλαγές ανάμεσα στην εγχώρια κατανάλωση και τις εξαγωγές φάνηκε ότι αποφάσεις σε περιόδους κρίσης μπορεί να αφήνουν αποτύπωμα δεκαετίες αργότερα, με την Αργεντινή να παρουσιάζει έναν τομέα με ισχυρότερο κλείδωμα στα ορυκτά καύσιμα. Αντίθετα, η Βραζιλία παρουσίασε έναν τομέα που δείχνει πιο ικανός να αξιοποιήσει σωρευτική γνώση, μια άλλη σημαντική κοινωνικοτεχνική έννοια που αναδείχθηκε και αφορά την αξιοποίηση παρελθοντικής γνώσης, για τα επόμενα βήματα της μετάβασης.

Στη συνέχεια, η Ενότητα III εστίασε και παρουσίασε τη γνώση που αποκτήθηκε από την διαδικασία της συνδιαμόρφωσης με εμπειρογνώμονες, αποφασίζοντες και διάφορα ενδιαφερόμενα μέρη με τη χρήση τεχνικών επιχειρησιακής έρευνας, για την εξαγωγή των προτιμήσεων και των απόψεων παραπάνω από 350 συμμετεχόντων στις διαδικασίες συμμετοχικότητας της διατριβής. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν μεθοδολογίες και αποτελέσματα από ένα εργαστήριο συνδιαμόρφωσης αναλύσεων μοντέλων και προτεραιοποίησης στόχων βιώσιμης ανάπτυξης στην Ευρώπη και μια μεγάλης κλίμακας διαδικτυακή έρευνα για τις δυνατότητες ρηξικέλευθων καινοτομιών (Κεφάλαιο 7), ένα εργαστήριο ιεράρχησης μεταβάσεων τομέων και στόχων βιώσιμης ανάπτυξης στην Κένυα (Κεφάλαιο 8), και μια μελέτη που αφορούσε στην επίδραση των κρίσεων στο φάσμα των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και τις διαφορές ανάμεσα σε ειδικούς βιωσιμότητας και ειδικούς στη χρήση μοντέλων IAMs (Κεφάλαιο 9).

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, η διατριβή μέσω της Ενότητας III συνέβαλε στην ανάπτυξη δύο νέων μεθοδολογιών επιχειρησιακής έρευνας για την εξαγωγή γνώσης από συμμετέχοντες σε διαδικασίες συνδιαμόρφωσης.

Αρχικά, παρουσιάστηκε η νέα μέθοδος πολυκριτήριας ομαδικής λήψης αποφάσεων και ομοφωνίας 2-tuple Group TOPSIS. Η μέθοδος αυτή είναι ικανή να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα πολυκριτήριας ανάλυσης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με πολλούς συμμετέχοντες/αποφασίζοντες για να εξαχθεί η γνώση τους, οι προτιμήσεις τους, και οι προτεραιότητες τους με τρόπο τέτοιο ώστε τα αποτελέσματα, μέσα από τη χρήση απλών γλωσσικών μεταβλητών, να είναι κατανοητά από όλους και να μπορούν να αξιοποιηθούν για τη λήψη δράσης. Βασική καινοτομία της μεθόδου αποτελεί η εισαγωγή ενός δείκτη μέτρησης της ομοφωνίας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τόσο την κατάταξη που προτείνει ο κάθε αποφασίζων όσο και τις απόλυτες βαθμολογίες, και τις συγκρίνει με μια συλλογική λύση της ομάδας, ώστε να παράγει χρήσιμα συμπεράσματα για τις διαφορετικές απόψεις που συνυπάρχουν εντός της ομάδας των συμμετεχόντων, συμβάλλοντας στο γεφύρωμά τους και ενισχύοντας την έννοια της κλιματικής διπλωματίας. Ταυτόχρονα, μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού αλληλένδετων ερωτηματολογίων, φάνηκε ότι η μεθοδολογία αυτή είναι ικανή να μειώσει εγγενείς προκαταλήψεις στους συμμετέχοντες.

Σε δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η διασύνδεση των ασαφών γνωστικών χαρτών (FCM) με τη μέθοδο προσομοιώσεων Monte Carlo, σε μια νέα μέθοδο, την Monte Carlo Fuzzy Cognitive Mappping (FCM). Μέχρι στιγμής, η έλλειψη προόδου στο κομμάτι της σύγκλισης των FCM, δεν είχε επιτρέψει μια τέτοια εξέλιξη. Πρόσφατη πρόοδος όμως στο πεδίο επίτευξης σύγκλισης επέτρεψε την πραγματοποίηση μιας τέτοιας ενοποίησης, η οποία είναι ικανή να διαχειριστεί ένα μεγάλο εύρος της αβεβαιότητας των συστημάτων που αναπαριστούν τα FCM, τόσο σε επίπεδο συστημικής διαμόρφωσης, όπως για παράδειγμα στις σχέσεις αιτιότητας όπως αναπαρίσταται από τα βάρη των κόμβων και τα οποία συνήθως καθορίζονται από ενδιαφερόμενα μέρη (αβεβαιότητα λόγω ανθρώπινης υποκειμενικότητας), όσο και στις διαταραχές και τα σήματα εισόδου (αβεβαιότητα του περιβάλλοντος). Η πρόοδος αυτή έχει αξία καθώς τα FCM έχουν κατακριθεί για την έλλειψη διαχείρισης της αβεβαιότητας σε ικανοποιητικό βαθμό, με το ίδιο να ισχύει ωστόσο και με τα IAMs, στα οποία τα FCM λειτουργούν ως υποκατάστατα σε ασκήσεις συμμετοχικότητας, και στα οποία η διαχείριση της αβεβαιότητας είναι ακόμα πιο δύσκολη. Ευρύτερα, καταδείχτηκε ότι η μέθοδος MCFCM μπορεί

να παρέχει πιο εύρωστα αποτελέσματα, να δώσει μια πιο ρεαλιστική αναπαράσταση της ιεράρχησης προτεραιοτήτων και να αναδείξει ζητήματα (ιδίως αναφορικά με το εύρος της αβεβαιότητας) που ενδέχεται να διέφευγαν σε μια συμβατική FCM προσομοίωση.

Σε εμπειρικό επίπεδο, η διατριβή μέσω της Ενότητας III συνέβαλε στην εξαγωγή προτιμήσεων, προτεραιοτήτων και απόψεων ενδιαφερόμενων μερών, εμπειρογνωμόνων και φορέων χάραξης πολιτικής μέσα από εργαστήρια και έρευνες σε μια λογική συνδιαμόρφωσης με τα πορίσματα να είναι ικανά να οδηγήσουν την πραγματοποίηση διεπιστημονικών ασκήσεων μοντελοποίησης.

Σε πρώτο στάδιο, το εργαστήριο διαβούλευσης που πραγματοποιήθηκε για τη συνδιαμόρφωση σεναρίων και προτεραιοτήτων μοντελοποίησης ανέδειξε σημαντικά ζητήματα, τα οποία οι συμμετέχοντες θεώρησαν κομβικά ζητώντας να πραγματοποιηθούν εις βάθος αναλύσεις. Ένα τέτοιο σημαντικό ζήτημα που ξεχώρισε ήταν η διαμόρφωση ενός ρεαλιστικού σεναρίου αναφοράς βασισμένο σε υφιστάμενες πολιτικές και δεσμεύσεις ώστε να γίνει αντιληπτό το πού βαδίζει ο κόσμος και ειδικότερα η Ευρώπη, και το οποίο στη συνέχεια θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σενάριο βάσης για όλες τις υπόλοιπες αναλύσεις. Πρόσθετα σημαντικά ζητήματα που προέκυψαν αφορούσαν τον ρόλο αλλαγών στη συμπεριφορά και τον τρόπο ζωής των καταναλωτών από την πλευρά της ζήτησης, τον ρόλο ρηξικέλευθων τεχνολογιών στην πορεία της μετάβασης, επιπτώσεις στην απασχολησιμότητα και την ανάγκη επενδύσεων, αλλά και ζητήματα που αφορούσαν τον εξηλεκτρισμό, την αποθήκευση ενέργειας και το υδρογόνο.

Σε επόμενο στάδιο, αξιοποιήθηκαν οι στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης (SDG) ως ενδεικτικές θεματολογίες στο φάσμα της βιωσιμότητας, ώστε να δοθούν επιλογές στους συμμετέχοντες να διαμορφώσουν προτεραιότητες με βάση ένα μεγαλύτερο εύρος ζητημάτων που μπορεί να τους απασχολούν. Στις προ κρίσης προτεραιότητες αναδείχθηκε ότι οι συμμετέχοντες θεώρησαν όλο το φάσμα ως σημαντικό, αλλά ειδικότερα ξεχώρισαν ζητήματα που αφορούσαν στην ευρύτερη προστασία του περιβάλλοντος όπως η βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα, όπως εκφράζονται από τα SDG15 (ζωή στη στεριά) και SDG14 (ζωή κάτω από το νερό). Ενδιαφέρον, παρουσίασε το γεγονός ότι το πιο οικονομικά προσανατολισμένο SDG8 δεν έλαβε ιδιαίτερη προσοχή, ως αποτέλεσμα της αίσθησης των συμμετεχόντων ότι υπάρχει καλή πρόοδος σε αυτόν τον στόχο σε σχέση με τους άλλους, και ότι εκπροσωπείται σχετικά αξιοπρεπώς στα IAMs, καθώς το ΑΕΠ είναι από τις βασικές παραμέτρους των μοντέλων. Ωστόσο μια τέτοια άποψη παραγνωρίζει το γεγονός ότι το SDG8 περιλαμβάνει και άξονες

απασχολησιμότητας, οι οποίοι ενδιέφεραν τους συμμετέχοντες. Όταν, λοιπόν, λήφθηκε υπόψη το πόσο σημαντικές θεωρούν τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα SDG στον ευρύτερο χώρο της βιωσιμότητας, και εισήχθησαν διαταραχές σχετικές με τις σύγχρονες κρίσεις, μέσω μιας προσομοίωσης FCM, οι προτιμήσεις εμπλεκόμενων μερών άρχισαν να στρέφονται προς αμεσότερες οικονομικές ανάγκες και επιδράσεις και έμφαση σε προτεραιότητες όπως το SDG8, αλλά και το SDG7 που αφορά στην πρόσβαση σε καθαρή και οικονομικά προσιτή ενέργεια. Στο ίδιο πρίσμα εξαγωγής προτεραιοτήτων βιωσιμότητας, πραγματοποιήθηκε εργαστήριο με τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών σε μια χώρα του αναπτυσσόμενου κόσμου (Κένυα), από αυτές δηλαδή που σπάνια εκπροσωπούνται σε τέτοιες διεργασίες, δείχνοντας ότι οι προτεραιότητες των τοπικών συμμετεχόντων περιστρέφονταν γύρω από γνωστά ζητήματα της περιοχής που μια σειρά από πολιτικές έχουν προσπαθήσει να αντιμετωπίσουν στο παρελθόν, φανερώνοντας έτσι μια έλλειψη απόδοσης αυτών των μέτρων, και καταδεικνύοντας ότι η αλλαγή δεν είναι μόνο ζήτημα χάραξης αλλά και υλοποίησης των πολιτικών.

Αποκρινόμενοι άμεσα στην προτεραιότητα που παρείχαν οι συμμετέχοντες για εξερεύνηση του ρόλου ρηξικέλευθων καινοτομιών, πραγματοποιήθηκε μια διαδικτυακή έρευνα με τη συμμετοχή εμπειρογνωμόνων βιωσιμότητας για να αξιολογηθεί ο ρόλος που μπορεί να έχουν τέτοιες καινοτομίες στην πορεία της μετάβασης. Αναδείχθηκε ότι καινοτομίες που σχετίζονται με την πλευρά της ζήτησης παρουσιάζουν σχετικά υψηλό δυναμικό, χαμηλό ρίσκο και σχεδόν άμεση διαθεσιμότητα, με αποτέλεσμα να λάβουν σημαντική προτεραιότητα από τους συμμετέχοντες. Ειδικότερα, ξεχώρισαν λύσεις που σχετίζονται με τις μεταφορές (μείωση ζήτησης, μικροκινητικότητα), αλλά και με την βελτιστοποίηση των θερμικών αναγκών των κτηρίων. Από τις βασικές και μεγάλης κλίμακας τεχνολογίες, ξεχώρισαν λύσεις που αφορούσαν τη βιομηχανία (σε εναρμόνιση με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 3), ενώ χαμηλά τοποθετήθηκαν λύσεις που ενσωματώνουν ρίσκο καθυστέρησης όπως τεχνολογίες αρνητικών εκπομπών (DAC), αλλά και η πυρηνική σύντηξη.

Τέλος, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα και για την ίδια τη διαδικασία της μοντελοποίησης και ειδικότερα για τα μοντέλα και τους περιορισμούς τους. Συγκεκριμένα, μέσω της FCM προσομοίωσης στο Κεφάλαιο 9, συγκρίθηκαν οι απόψεις ειδικών στη βιωσιμότητα και ειδικών στη χρήση μοντέλων ενώ συνυπολογίστηκε η επίδραση των δυνατοτήτων μοντελοποίησης. Αναδείχθηκε ότι οι ειδικοί βιωσιμότητας θεώρησαν ισχυρές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα SDG και άρα κομβικότερο ρόλο σε όλο το φάσμα βιωσιμότητας. Αντίθετα οι ειδικοί στη χρήση

μοντέλων φάνηκε να αυτοπεριορίζονται με βάση το τι μπορούν να πραγματευτούν τα μοντέλα τους. Ταυτόχρονα είδαμε ότι, όταν και οι απόψεις των ειδικών στη βιωσιμότητα περιορίζονται από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, οι προτεραιότητες τους συγκλίνουν με αυτές των ειδικών στα μοντέλα. Αυτό φανέρωσε ότι, παρά την αξία της συνδιαμόρφωσης, υπάρχουν δομικοί περιορισμοί στα μοντέλα που αν κατά περίπτωση δεν αντιμετωπιστούν τότε θα είναι κυρίως τα ίδια τα μοντέλα, και οι δυνατότητες τους, που καθορίζουν τη θεματολογία των ασκήσεων μοντελοποίησης, και λιγότεροι οι συμμετέχοντες.

Μεταφέροντας τη γνώση που αντλήθηκε από τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις και τις διαδικασίες συμμετοχικότητας και συνδιαμόρφωσης, η Ενότητα IV οδήγησε στο τελευταίο στάδιο του υποδείγματος απόκρισης σε κρίσεις, αυτό της διεπιστημονικής μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δύο τέτοιες ασκήσεις, μία από την πλευρά της προσφοράς στην οποία δόθηκε έμφαση στην κρίση ως αποτέλεσμα της COVID-19, όπου πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση των πράσινων επενδύσεων για την ανάκαμψη (Κεφάλαιο 10), και μια από την πλευρά της ζήτησης, ως απόκριση στις υψηλές τιμές ενέργειας ως αποτέλεσμα της ενεργειακής κρίσης, όπου μελετήθηκε η νομισματοποίηση της συμπεριφορικής εξοικονόμησης για την παροχή κινήτρων στους καταναλωτές ώστε να μειώσουν την κατανάλωσή τους ως απάντηση στην ενεργειακή κρίση (Κεφάλαιο 11).

Η βελτιστοποίηση των πράσινων επενδύσεων ανάκαμψης από την COVID-19, μεθοδολογικά, άντλησε από το τελευταίο συμπέρασμα της διαδικασίας συνδιαμόρφωσης ότι δηλαδή θα πρέπει να αντιμετωπιστούν οι περιορισμοί των μοντέλων, ώστε να ενσωματωθούν οι απόψεις των ενδιαφερόμενων μερών στην πράξη. Έτσι, συνδυάστηκαν το GCAM, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο αποτίμησης, η AUGMECON-R μια τεχνική πολυστοχικού προγραμματισμού, προσομοιώσεις Monte Carlo για τη διαχείριση της αβεβαιότητας, και μια αναλυτική βάση δεδομένων συντελεστών απασχολησιμότητας, συμπεριλαμβανομένων συνοδευτικών συντελεστών, όπως συντελεστών απόσβεσης βασισμένων σε τεχνοοικονομικά δεδομένα τεχνολογιών και τοπικών συντελεστών για την ικανότητα κάθε χώρας να δημιουργήσει ενδογενώς θέσεις εργασίας. Έτσι, επιτράπηκε η βελτιστοποίηση των πράσινων επενδύσεων ανάπτυξης με στόχο την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση της δημιουργίας θέσεων εργασίας και μείωσης εκπομπών, έναντι μιας απλής μεθόδου βασισμένης σε ένα IAM που θα πραγματοποιούσε απλή βελτιστοποίηση κόστους κάτω από ένα σύνολο περιορισμών για τις εκπομπές. Με αυτό τον τρόπο απαντήθηκε και ένα άλλο κομβικό ζήτημα που προέκυψε από τους συμμετέχοντες στις διαδικασίες συνδιαμόρφωσης,

αυτό της απασχολησιμότητας και της δημιουργίας και διαχείρισης επενδύσεων, που αναδείχθηκε τόσο απευθείας ως προτίμηση στους διαλόγους, όσο και με την προτεραιοποίηση του SDG8, αλλά προέκυψε επίσης και σαν προτεραιότητα από τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις (π.χ., μελέτη περίπτωσης Ελλάδας). Τα διάφορα σενάρια επενδύσεων με κατεύθυνση την πράσινη ανάπτυξη βασίστηκαν πάνω σε ένα σενάριο αναφοράς με βάση το που βαδίζει η Ευρώπη δεδομένων των τότε υφιστάμενων πολιτικών (πριν το COP26 της Γλασκώβης) και άρα πριν την αλλαγή του στόχου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε μείωση εκπομπών το 2030 κατά 55% σε σχέση με το 1990. Το σενάριο αυτό αφενός ήταν εναρμονισμένο με τις επιθυμίες των ενδιαφερόμενων μερών, αφετέρου ανέδειξε ότι με βάση τις τότε πολιτικές ο παλαιός στόχος 40% ήταν εφικτός, αναδεικνύοντας ωστόσο το κενό που υπάρχει με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Ταυτόχρονα, παρόλο που σε επίπεδο ΕΕ η άμεση προτεραιότητα ήταν η άμεση δημιουργία θέσεων εργασίας (π.χ., τα πακέτα από το ταμείο ανάκαμψης πρέπει να διατεθούν πλήρως μέχρι το 2026), στη μελέτη αυτή επεκτάθηκε ο στόχος για βελτιστοποίηση θέσεων εργασίας και μέχρι το 2030, αναγνωρίζοντας με βάση τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις ότι αποφάσεις που λαμβάνονται άμεσα σε περιόδους κρίσεων μπορεί να έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Τέλος, ενώ βασικός στόχος ήταν η βελτιστοποίηση τεχνολογιών καθαρής παραγωγής ενέργειας, όπου υπάρχει ο μεγαλύτερος ανταγωνισμός ανάμεσα σε τεχνολογίες, επίσης με βάση τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις επεκτάθηκε το εύρος της μελέτης ώστε να περιλαμβάνει και την τεχνολογία των βιοκαυσίμων δεδομένου του συμπληρωματικού τους ρόλου ιδιαίτερα ως μια ταχεία απόκριση σε κρίσεις.

Σε επίπεδο εμπειρικών αποτελεσμάτων, φάνηκε ότι η επίτευξη της πράσινης ανάκαμψης με γνώμονα τη δημιουργία θέσεων εργασίας για την αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της COVID-19 και τη μείωση των εκπομπών για την συνεισφορά στην επίτευξη των νέων φιλόδοξων στόχων της ΕΕ είναι εφικτή. Το ίδιο ισχύει και για μεγάλες οικονομίες του πλανήτη, με το πακέτο της ΕΕ ωστόσο να κρίνεται ως το πλέον φιλόδοξο προς αυτή την κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, μάλιστα, εκτιμήθηκε ότι υπάρχει ένα δυναμικό στη μείωση εκπομπών 400–770 $MtCO_2$ μέχρι το 2030, και στη δημιουργία 550–915 και 850-1450 χιλιάδων εργατοετών στον τομέα της ενέργειας έως το 2025 και το 2030 αντίστοιχα, προσθετικά στην επίδραση των υφιστάμενων πολιτικών. Σημαντικό στοιχείο αυτών των αποτελεσμάτων αποτέλεσαν οι συμβιβασμοί (trade-offs) μεταξύ των στόχων. Έτσι για παράδειγμα, καταδείχθηκε ότι η επίτευξη του μέγιστου δυναμικού σε δημιουργία θέσεων εργασίας το 2030 οδηγούσε σε σημαντικές θυσίες στους άλλους δύο στόχους. Ωστόσο, η μεθοδολογία, βασιζόμενη σε μια

απόπειρα βελτιστοποίησης και στους τρεις στόχους ταυτόχρονα, κατάφερε να ξεκλειδώσει το μέγιστο δυναμικό στις μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας χωρίς να θυσιάζει τους άλλους δύο στόχους με εύρωστο τρόπο, επιτυγχάνοντας περίπου έως 1,2 εκατομμύρια εργατοέτη έναντι των 900 χιλιάδων που θα επιτυγχάνονταν σε ένα σχεδιασμό βασισμένο στα βραχυπρόθεσμα οφέλη. Σε επίπεδο τεχνολογιών φάνηκε ότι η ΕΕ μπορεί να επωφεληθεί από μαζικές επενδύσεις σε αιολικά (συμπεριλαμβανομένων υπεράκτιων) συνοδευόμενα από επενδύσεις σε βιοκαύσιμα (ο συμπληρωματικός χαρακτήρας των βιοκαυσίμων αποδείχτηκε και στις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις), και σε μικρότερο βαθμό σε άλλες τεχνολογίες. Χαρακτηριστική ήταν η απουσία σημαντικών επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, σε αντίθεση με άλλες χώρες, εξαιτίας της ισχυρής τους παρουσίας στο σενάριο αναφοράς. Αυτό ανέδειξε ένα χρήσιμο συμπέρασμα για την αξιοποίηση των πακέτων ανάκαμψης, ότι δηλαδή πρέπει να λειτουργούν συμπληρωματικά στις υφιστάμενες πολιτικές και να αξιοποιήσουν νέες ευκαιρίες, αντί να επιταχύνουν τις ίδιες τις υφιστάμενες πολιτικές. Αυτό συνάδει με τη λογική τη αποτελεσματικής αξιοποίησης των παράθυρων ευκαιρίας, όπως αναδείχθηκε στις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις.

Όπως στη βελτιστοποίηση των πράσινων επενδύσεων ανάκαμψης από την COVID-19, έτσι και στην άσκηση μοντελοποίησης από την πλευρά της ζήτησης πραγματοποιήσαμε μεθοδολογικές προεκτάσεις σε μοντέλα, με βάση την καθοδήγηση της διαδικασίας συνδιαμόρφωσης για την αξιολόγηση της νομισματοποίησης συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα, ως απάντηση στην ενεργειακή κρίση και τις υψηλές τιμές καυσίμων και ενέργειας. Η εστίαση στην πλευρά της ζήτησης σε αυτή τη μελέτη, πέρα από το ίδιο το αίτημα των ενδιαφερόμενων μερών, άντλησε και από τον ισχυρό ρόλο του φυσικού αερίου εντός του συστήματος που επίσης προέκυψε από τις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις, και ο οποίος ρόλος σε συνδυασμό με τις αυξήσεις τιμών ενέργειας απαίτησε άμεσες παρεμβάσεις στη ζήτηση για την απόκριση στην κρίση, καθώς παρεμβάσεις στην πλευρά της προσφοράς συνοδεύονται από σχετική καθυστέρηση (γενικότερα αλλά ιδίως στην Ελλάδα). Συγκεκριμένα, από μεθοδολογική σκοπιά, παρουσιάστηκε το μοντέλο ATOM, ένας καινοτόμος μηχανισμός επιβράβευσης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας, ο οποίος παρέχει κίνητρα σε χρήστες ώστε να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας τους. Ο μηχανισμός αυτός ενσωματώθηκε στο DREEM, ένα bottom-up agent-based μοντέλο για την προσομοίωση του κτηριακού τομέα της Ελλάδας, με το οποίο μελετήθηκε η ενεργειακή και οικονομική επίδραση μιας δράσης διαχείρισης ενέργειας όπου οι χρήστες ρυθμίζουν την θερμοκρασία του θερμοστάτη με τρόπο τέτοιο ώστε

να εξοικονομούν ενέργεια χωρίς να παραβιάζεται η θερμική τους άνεση. Έτσι, πέρα από την επέκταση των ικανοτήτων των μοντέλων, λήφθηκε υπόψη ένα γενικότερο αίτημα των συμμετεχόντων στα προηγούμενα βήματα, οι οποίοι ζήτησαν να πραγματοποιηθεί εστίαση σε ζητήματα που αφορούν την πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ενέργεια (SDG7) και αλλαγές συμπεριφοράς, με έμφαση όπως φάνηκε στην διαδικτυακή έρευνα ειδικότερα σε θέματα βελτιστοποίησης των ενεργειακών αναγκών, ένα ζήτημα που αναδείχθηκε ως πλέον σχετικό κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης.

Με βάση τα εμπειρικά αποτελέσματα των μοντέλων, τονίστηκε ότι από μόνη της η συγκεκριμένη δράση μπορεί να συμβάλει στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 10% με την προϋπόθεση ότι το νοικοκυριό θα συμμετέχει ενεργά, αξιοποιώντας ένα σημαντικό μέρος του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας από αλλαγές συμπεριφοράς, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια από πλευράς των μελών του πέρα από τη στιγμιαία ρύθμιση του θερμοστάτη για κάποιες ώρες μέσα στη μέρα. Αυτό το ποσοστό, αναγόμενο στο σύνολο των κτηρίων της Ελλάδας και θεωρώντας συνήθη ποσοστά συμμετοχικότητας, εκτιμήθηκε ότι θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση της συνολικής ζήτησης ενέργειας του οικιακού τομέα κατά 5%. Ταυτόχρονα, για μια τέτοια δράση ο μηχανισμός επιβράβευσης εκτιμήθηκε ότι μπορεί να παρέχει πρόσθετα οικονομικά κίνητρα της τάξης των 200€ για ένα μέσο νοικοκυριό (και πρόσθετα στη μείωση κόστους που προκύπτει από την μείωση της κατανάλωσης), ένα ποσό που με βάση και ενδείξεις της βιβλιογραφίας φαίνεται να είναι αρκετό για να παρακινήσει πραγματικά ομάδες τελικών χρηστών, ιδίως αυτών που ανήκουν στα χαμηλότερες εισοδηματικές κατηγορίες και που είναι πιο επιρρεπείς στις αυξήσεις τιμών λόγω κρίσης και ευρύτερα στο φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας.

Συνολικά, τα αποτελέσματα αυτά, οι προτεινόμενες μεθοδολογίες και το υπόδειγμα γενικότερα παρείχαν διεξόδους ώστε να απαλυνθούν οι επιπτώσεις και οι κίνδυνοι των διαδοχικών και αλληλεπικαλυπτόμενων κρίσεων, συμβάλλοντας στην προώθηση της βιώσιμης μετάβασης, αξιοποιώντας παράλληλα ευκαιρίες που δημιουργούνται για την ενίσχυση της κοινωνικής προόδου μέσα από την δημιουργία θέσεων εργασίας και την υποστήριξη των νοικοκυριών ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις οικονομικές απαιτήσεις για την κάλυψη των βασικών ενεργειακών αναγκών τους. Όπως τονίζει και μια κλασική κινέζικη παροιμία, «μια κρίση αποτελεί ευκαιρία που βρίσκεται όμως πάνω σε έναν επικίνδυνο άνεμο» *("a crisis is an opportunity riding a dangerous wind")*. Από τη σκοπιά της κλιματικής κρίσης και των προκλήσεων

της σύγχρονης πολυκρίσης, η συνεισφορά της διατριβής στην απάντηση του ερωτήματος «*πώς μπορούμε να υποστηρίξουμε αποτελεσματικά αποφάσεις ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής με τη χρήση μοντέλων ενέργειας-κλίματος-οικονομίας σε περιόδους κρίσεων;*» συμβάλλει στην οικοδόμηση μιας νέας βιώσιμης κοινωνίας, πιο ανθεκτικής στις προκλήσεις του σύγχρονου περιβάλλοντος, που εκμεταλλεύεται τις ευκαιρίες που ανοίγονται και αντιμετωπίζει τις προκλήσεις που εμφανίζονται.

12.2 Προοπτικές

Όπως κάθε μελέτη, και ειδικότερα οι έρευνες που βασίζονται σε μοντέλα με σημαντικό αριθμό υποθέσεων εργασίας, έτσι και η παρούσα διατριβή χαρακτηρίζεται από περιορισμούς και όρια αναφορικά με τα αντικείμενα που μπορούσε να μελετήσει, τα οποία όμως μαζί με τα πορίσματα που ανέκυψαν, δημιουργούν ευκαιρίες για μελλοντική έρευνα.

Σε πρώτο και γενικό επίπεδο, η έρευνα έθεσε ως στόχο να υποστηρίξει αποφάσεις ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής σε περιόδους κρίσεων. Η πλήρης απόκριση σε μια κρίση και η επίλυση όλων των προβλημάτων που ανακύπτουν από αυτή είναι πρακτικά αδύνατη, και απαιτεί κατ' ελάχιστο το συνδυασμό δράσεων και ερευνών από ένα ευρύ φάσμα οπτικών γωνιών και επιστημονικών πεδίων, που ξεφεύγει από τα όρια της διατριβής. Αντίθετα, εδώ έγινε προσπάθεια να υποστηριχθούν οι αποφάσεις σε κάποια καίρια ζητήματα που ανέκυψαν από τις πρόσφατες κρίσεις, με την καθοδήγηση και των συμμετεχόντων στις διαδικασίες συνδιαμόρφωσης, με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται να έχουν ένα σημαντικό αντίκτυπο. Ταυτόχρονα, όμως, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τις συγκεκριμένες κρίσεις και για τα στοχευμένα ερωτήματα που απαντήθηκαν, αφήνει ως παρακαταθήκη καλές πρακτικές, μεθοδολογίες και τυποποιημένες διαδικασίες για την αμεσότερη απόκριση σε κρίσεις που μπορεί να έρθουν στο μέλλον. Υπό αυτό το πρίσμα, η διεπιστημονική μεθοδολογία της διατριβής μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ των προτέρων για την προληπτική μελέτη θεωρητικών κρίσεων που μπορεί να εμφανιστούν ώστε να δημιουργηθεί μια βάση με σενάρια κρίσεων και αποκρίσεις σε αυτές, στα πρότυπα των υφιστάμενων βάσεων με σενάρια συγκεκριμένων θερμοκρασιακών στόχων, ώστε η επιστημονική κοινότητα να είναι άμεσα έτοιμη να υποστηρίξει κομβικές αποφάσεις χάραξης πολιτικής. Μια τέτοια προληπτική λογική κρίνεται σημαντική γιατί και οι διεπιστημονικές διαδικασίες πέραν από τις μοντελοποιήσεις απαιτούν χρόνο για την πραγματοποίηση τους.

Σε παρόμοια λογική, και αναφορικά με τα όρια των θεματολογιών που πραγματεύτηκε η διατριβή, οι συμμετέχοντες στις διαδικασίες συνδιαμόρφωσης παρήγαγαν πληθώρα από θέματα, τα οποία θα ήθελαν να μελετηθούν περαιτέρω. Αν και έγινε σημαντική προσπάθεια να εκπροσωπηθούν όσο γίνεται περισσότερες από τις προτεραιότητες των ενδιαφερόμενων μερών, αναπόφευκτα, και δεδομένου του ερευνητικού ερωτήματος που τέθηκε και που αφορούσε τις περιόδους κρίσεων, τα κριτήρια της επιλογής των θεματολογιών που μελετήθηκαν αφορούσαν τη σχετικότητα με τις κρίσεις. Ενδεικτικά θέματα που χρήζουν ωστόσο μελέτης με βάση ενδιάμεσα πορίσματα της διαδικασίας περιστρέφονται γύρω από πρόσθετες συμπεριφορικές δράσεις (όπως για παράδειγμα στις μεταφορές), ζητήματα που σχετίζονται με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής και των προσπαθειών μετριασμού στη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα, και ο ρόλος συγκεκριμένων τεχνολογιών/λύσεων όπως το υδρογόνο και ο εξηλεκτρισμός.

Επί των συγκεκριμένων μεθοδολογιών, οι κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις βασίζονται σε δευτερογενή δεδομένα, τα οποία δύνανται να ενσωματώνουν προκαταλήψεις που ενυπάρχουν στην βιβλιογραφία. Έγινε σημαντική προσπάθεια τέτοιου είδους προκαταλήψεις να μετριαστούν με την συμπερίληψη ενός μεγάλου όγκου δευτερογενών πηγών που αυξάνει την πιθανότητα να ενσωματωθούν όλες οι πιθανές αντιλήψεις και ερμηνείες, ενώ ταυτόχρονα πιθανές ερμηνείες συσχετίστηκαν με πραγματικά εμπειρικά δεδομένα για να εξασφαλιστεί η εναρμόνιση τους με τον πραγματικό κόσμο. Προτείνεται, ωστόσο, και η εισαγωγή πρωτογενών πηγών στις κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις για να επαληθεύονται τα πορίσματα της βιβλιογραφίας. Σε αυτή τη διαδικασία θα μπορούσε να συνεισφέρει ο συνδυασμός των FCM με την προσέγγιση λειτουργιών του συστήματος TIS, κάτι που δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής, και θα μπορούσε να ενισχύσει τις ικανότητες και των δύο μεθοδολογιών.

Η πιθανή ενσωμάτωση προκαταλήψεων ωστόσο είναι πιθανό να εμφανίζεται και σε όλες τις διαδικασίες που βασίζονται στη συμμετοχικότητα, όπου ενσωματώνεται η ανθρώπινη υποκειμενικότητα. Στα πλαίσια της διατριβής εφαρμόστηκαν τεχνικές διαχείρισης τέτοιων φαινομένων και μελέτης της αβεβαιότητας σε διάφορα επίπεδα. Η ενσωμάτωση και άλλων απόψεων ωστόσο μπορεί να συνεισφέρει στην επιβεβαίωση των πορισμάτων της διατριβής και να ανοίξει και πρόσθετες οδούς ερευνών. Σε αυτή τη λογική, η μεθοδολογία της 2-tuple Group TOPSIS μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο στα εργαστήρια που υλοποιούνται και να ανατροφοδοτεί τους

συμμετέχοντες, το οποίο θα ενισχύσει τη διαδικασία διαβούλευσης και μπορεί να περιορίσει περαιτέρω τις προκαταλήψεις.

Τέλος, τα μοντέλα ενέργειας-κλίματος-οικονομίας εξ ορισμού παράγουν εύλογα μελλοντικά σενάρια και πιθανές εξελίξεις της διασύνδεσης του ανθρώπινου συστήματος με το περιβάλλον, κάτω από ένα σύνολο συγκεκριμένων παραμέτρων και μεταβλητών που οδηγούν τα αποτελέσματα τους. Έγινε σημαντική προσπάθεια να ακολουθηθούν αποφάσεις τρόπου μοντελοποίησης και επιλογής τιμών παραμέτρων με βάση τα τελευταία και πιο πρόσφατα πρότυπα εναρμόνισης δεδομένων σε τέτοιου είδους ασκήσεις, αξιοποιώντας όσο γίνεται πιο πρόσφατες και έγκυρες βάσεις δεδομένων. Εξαιτίας της ενεργειακής κρίσης, σε αυτό το στάδιο αναδείχθηκαν στη συζήτηση ζητήματα που αφορούν στην επιλογή παραμέτρων στις τιμές καυσίμων. Στη συγκεκριμένη διατριβή, η συζήτηση αυτή αφορά κυρίως το μοντέλο GCAM, στο οποίο δεν ενσωματώθηκαν οι αυξήσεις τιμών για ένα σύνολο από λόγους. Ο πρώτος και ο πιο βασικός είναι ότι για μεγάλο διάστημα δεν υπήρχαν εμπεριστατωμένα δεδομένα από έγκυρες πηγές, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε απόπειρα υπόθεσης να κινδυνεύει να είναι μη ρεαλιστική. Δεύτερον, δεδομένο ότι η ανάλυση με βάση το GCAM αφορούσε την κρίση της COVID-19, και άρα προηγείτο της ενεργειακής κρίσης, ήταν σημαντικό για την εσωτερική συνοχή του σεναρίου οι παράμετροι να αφορούν τις παραδοχές πριν την ενεργειακή κρίση, ώστε να έχουν σαφώς αποσυντεθεί οι επιδράσεις της κρίσης και της απόκρισης σε αυτές. Μελλοντική έρευνα ωστόσο, μπορεί να επεκτείνει τη μελέτη που παρουσιάστηκε, να ενσωματώσει πρόσθετες υποθέσεις της ενεργειακής κρίσης, με βάση και την πρόσφατη επέκταση του μοντέλου GCAM για να ενσωματώσει αγωγούς φυσικού αερίου ώστε να εξετάσει την αλληλεπίδραση των κρίσεων. Επίσης, η πλευρά της ζήτησης περιλαμβάνει μια πληθώρα πρόσθετων συμπεριφορικών δράσεων, μικρότερης επίδρασης η κάθε μια, αλλά που σωρευτικά παρουσιάζουν ενδιαφέρον για πρόσθετη μοντελοποίηση.

Παράρτημα Α: Λίστα Δημοσιεύσεων

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά

J1. **Koasidis, K.,** Nikas, A., Van de Ven, D. J., Xexakis, G., Forouli, A., Mittal, S., ... & Doukas, H. (2022). Towards a green recovery in the EU: Aligning further emissions reductions with short-and long-term energy-sector employment gains. *Energy Policy, 171*, 113301.

J2. **Koasidis, K.,** Marinakis, E., Nikas, A., Chira, K., & Doukas, H. (2022). Monetising behavioural change as a policy measure to support energy management in the residential sector: a case study in Greece. *Energy Policy, 161*, 112759.

J3. **Koasidis, K.,** Nikas, A., & Doukas H. (2023). Why integrated assessment models alone are insufficient to navigate us through the polycrisis. *One Earth, 6*(3), 205-209.

J4. **Koasidis, K.**, Koutsellis, T., Xexakis, G., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). Understanding expectations from and capabilities of climate-economy models for measuring the impact of crises on sustainability. *Journal of Cleaner Production, 414*, 137585.

J5. **Koasidis, K.,** Nikas, A., Karamaneas, A., Saulo, M., Tsipouridis, I., Campagnolo, L., ... & Doukas, H. (2022). Climate and sustainability co-governance in Kenya: A multi-criteria analysis of stakeholders' perceptions and consensus. *Energy for Sustainable Development, 68*, 457-471.

J6. **Koasidis, K.,** Nikas, A., … & Doukas, H. (2020). The UK and German Low-Carbon Industry Transitions from a Sectoral Innovation and System Failures Perspective. *Energies, 13*(19), 4994.

J7. **Koasidis, K.,** Karamaneas, A., … & Doukas, H. (2020). Many Miles to Paris: A Sectoral Innovation System Analysis of the Transport Sector in Norway and Canada in Light of the Paris Agreement. *Sustainability, 12*(14), 5832.

J8. **Koasidis, K.,** Nikas., A., Daniil, V., Kanellou, E., & Doukas, H. (2022). A multi-criteria decision support framework for assessing seaport sustainability planning: the case of Piraeus. *Maritime Policy & Management*, in press.

J9. **Koasidis, K.,** Marinakis, V., Doukas, H., Doumouras, N., Karamaneas, A., & Nikas, A. (2023). Equipment-and Time-Constrained Data Acquisition Protocol for Non-Intrusive Appliance Load Monitoring. *Energies, 16*(21), 7315.

J10. van de Ven, D. J., Nikas, A**., Koasidis, K.,** Forouli, A., Cassetti, G., Chiodi, A., ... & Gambhir, A. (2022). COVID-19 recovery packages can benefit climate targets and clean energy jobs, but scale of impacts and optimal investment portfolios differ among major economies. *One Earth, 5*(9), 1042-1054.

J11. van de Ven, D. J., Gambhir, A., Doukas, H., Giarola, S., Hawkes, A., **Koasidis, K.**, ... & Nikas, A. (2022). A multi-model analysis of post-Glasgow climate action and feasibility gap. *Nature Climate Change, 13*, 570–578.

J12. Boitier, B., Nikas, A., Gambhir, A., **Koasidis, K.**, Elia, A., Al-Dabbas, K., ... & Mittal, S. (2023). A multi-model analysis of the EU's path to net zero. *Joule, 7*(12).

J13. Nikas, A., **Koasidis, K.,** Köberle, A. C., Kourtesi, G., & Doukas, H. (2022). A comparative study of biodiesel in Brazil and Argentina: An integrated systems of innovation perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 156*, 112022.

J14. Nikas, A., Neofytou, H., Karamaneas, A., **Koasidis, K.,** & Psarras, J. (2020). Sustainable and socially just transition to a post-lignite era in Greece: A multi-level perspective. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 15*(10-12), 513-544.

J15. Labella, Á., **Koasidis, K.,** Nikas, A., Arsenopoulos, A., & Doukas, H. (2020). APOLLO: A fuzzy multi-criteria group decision-making tool in support of climate policy. *International Journal of Computational Intelligence Systems, 13*(1), 1539-1553.

J16. Nikas, A., Elia, A., Boitier, B., **Koasidis, K.**, Doukas, H., Cassetti, G., ... & Chiodi, A. (2021). Where is the EU headed given its current climate policy? A stakeholder-driven model inter-comparison. *Science of The Total Environment, 793*, 148549.

J17. Perdana, S., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Vielle, M., Nikas, A., Doukas, H., ... & Boitier, B. (2023). Expert perceptions of game-changing innovations towards net zero. *Energy Strategy Reviews, 45*, 101022.

J18. Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., **Koasidis, K.,** Lund, H., Thellufsen, J. Z., ... & Doukas, H. (2021). Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. *Energy, 215*(A), 119153.

J19. Nikas, A., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Acosta-Fernández, J., Arto, I., Calzadilla, A., ... & Doukas, H. (2022). Coupling circularity performance and climate action: From disciplinary silos to transdisciplinary modelling science. *Sustainable Production and Consumption, 30*, 269-277.

J20. Marinakis, V., Doukas, H., **Koasidis, K.,** & Albuflasa, H. (2020). From Intelligent Energy Management to Value Economy through a Digital Energy Currency: Bahrain City Case Study. *Sensors, 20*(5), 1456.

J21. Arsenopoulos, A., Marinakis, V., **Koasidis, K.,** Stavrakaki, A., & Psarras, J. (2020). Assessing Resilience to Energy Poverty in Europe through a Multi-Criteria Analysis Framework. *Sustainability, 12*(12), 4899.

J22. Cassetti, G., Boitier, B., Elia, A., Le Mouël, P., Gargiulo, M., Zagamé, P., ... , **Koasidis, K.,** …, & Chiodi, A. (2023). The interplay among COVID-19 economic recovery, behavioural changes, and the European Green Deal: An energy-economic modelling perspective. *Energy, 263*, 125798.

J23. Forouli, A., Pagonis, A., Nikas, A., **Koasidis, K.,** Xexakis, G., Koutsellis, T., ... & Doukas, H. (2022). AUGMECON-Py: A Python framework for multi-objective linear optimisation under uncertainty. *SoftwareX, 20*, 101220.

J24. Koutsellis, T., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Nikas, A., & Doukas, H. (2022). Parameter analysis for sigmoid and hyperbolic transfer functions of fuzzy cognitive maps. *Operational Research, 22*, 5733–5763.

J25. Karamaneas, A., **Koasidis, K.,** Frilingou, N., Xexakis, G., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). A stakeholder-informed modelling study of Greece's energy transition amidst an energy crisis: The role of natural gas and climate ambition. *Renewable and Sustainable Energy Transition, 3*, 100049.

J26. Frilingou, N., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Nikas, A., Campagnolo, L., Delpiazzo, E., ... & Doukas, H. (2023). Navigating through an energy crisis: Challenges and progress towards electricity decarbonisation, reliability, and affordability in Italy. *Energy Research & Social Science, 96*, 102934.

J27. Shirov, A. A., Kolpakov, A. Y., Gambhir, A., **Koasidis, K.,** Köberle, A. C., McWilliams, B., & Nikas, A. (2023). Stakeholder-driven scenario analysis of ambitious decarbonisation of the Russian economy. *Renewable and Sustainable Energy Transition, 4*, 100055.

J28. Bailie, A., Pied, M., Vaillancourt, K., Bahn, O., **Koasidis, K.,** Gambhir, A., ... & Nikas, A. (2023). Co-creating Canada's path to net-zero: a stakeholder-driven modelling analysis. *Renewable and Sustainable Energy Transition, 4*, 100061.

J29. Wachsmuth, J., Warnke, P., Gambhir, A., Giarola, S., **Koasidis, K.,** Mittal, S., ... & Doukas, H. (2023). Co-creating socio-technical scenarios for net-zero emission pathways: Comparison of five national case studies. *Renewable and Sustainable Energy Transition, 4*, 100064.

J30. Koutsellis, T., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Frilingou, N., Karamaneas, A., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). In-Cognitive: A web-based Python application for fuzzy cognitive map design, simulation, and uncertainty analysis based on the Monte Carlo method. *SoftwareX, 23*, 101513.

Δημοσιεύσεις κεφαλαίων σε επιστημονικά βιβλία

B1. **Koasidis, K.,** Karamaneas, A., Kanellou, E., Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2022). Towards Sustainable Development and Climate Co-governance: A Multicriteria Stakeholders' Perspective. In Doumpos, M., Ferreira, F.A.F., Zopounidis, C. (eds), Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Development (pp. 39-74). Springer, Cham.

B2. **Koasidis, K.,** Vourgidis, N., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). EU-GCC cooperation opportunities on behavioural energy efficiency. In Samad, W.A., Azar, E., Badran A.M.A. (eds), Carbon Neutrality in the Gulf: Between Well-intentioned Pledges and the Harsh Reality. Cambridge University Press, UK, in press.

B3. Karamaneas, A., Neofytou, H., **Koasidis, K.,** Nikas, A., De Miglio, R., McWilliams, B., & Doukas, H. (2022). Prioritizing Climate Action and Sustainable Development in the Central Asia and Caspian Region. In Wood, G., Onyango, V., Yenneti, K., Liakopoulou, M.A. (eds) The Palgrave Handbook of Zero Carbon Energy Systems and Energy Transitions (pp. 1-27). Cham: Springer International Publishing.

B4. Δούκας, Χ. **Κοασίδης, Κ.** Νίκας, Α. Μανιάτης, Γ. (2022). «Ανάλυση της πράσινης ανάκαμψης στην Ε.Ε. με κριτήριο τις περαιτέρω μειώσεις εκπομπών CO2 και τη δημιουργία θέσεων εργασίας στον τομέα της ενέργειας». Η ενεργειακή κρίση και η ελληνική οικονομία, Οικονομικό Επιμελητήριο της Ελλάδας, σελ. 111-125, ISBN: 978-960-7170-06-4, 2022.

Ανακοινώσεις και Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά συνέδρια με κρίση

C1. **Koasidis, K.,** & Psarras, J. (2021, July). Innovative Personalised Applications to Motivate and Support Behavioural Energy Efficiency. In 2021 12th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA).

C2. Arsenopoulos, A., Marinakis, V., **Koasidis, K.,** Stavrakaki, A., & Psarras, J. (2020, July). Decision Support Tools for Energy Efficiency Obligated Parties towards Energy Poverty Alleviation. In 2020 11th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA).

C3. Nikas, A., …, **Koasidis, K.,** … & Doukas, H. (2021, July). Integrating Integrated Assessment Modelling in Support of the Paris Agreement: The I2AM PARIS Platform. In 2021 12th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA).

C4. Koutsellis, T., Nikas, A., **Koasidis, K.,** Xexakis, G., Petkidis, C., Karamaneas, A., & Doukas, H. (2022, July). Normalising the Output of Fuzzy Cognitive Maps. In 2022 13th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) (pp. 1-7). IEEE.

C5. **Koasidis, K.,** Vourgidis, N., Marinakis, V., & Doukas, H. EU-GCC cooperation opportunities on behavioural energy efficiency. Carbon Neutrality in the GCC: Between good-intentioned pledges and the harsh reality. 2022 Gulf Research Meeting, July 14 - July 16, 2022, University of Cambridge, UK.

C6. **Koasidis, K.,** Spiliotis, E., Doumouras, N., & Psarras, J. (2021, July). Applied energy disaggregation framework to support behavioural energy efficiency through intelligent energy management. In 31st European Conference on Operational Research (EURO 2021), July 11-14, 2021.

C7. Forouli, A., van de Ven, D. J., **Koasidis, K.,** Nikas, A., Gambhir, A., Koutsellis, T., ... & Doukas, H. (2021, June). Multi-Objective Evaluation of Renewable Technology Subsidy Portfolios from COVID-19 Recovery Packages. In Energy, COVID, and Climate Change, 1st IAEE Online Conference, June 7-9, 2021. International Association for Energy Economics.

C8. van de Ven, D. J., Forouli, A., **Koasidis, K.,** Gambhir, A., Koutsellis, T., Doukas, H., & Nikas, A. (2021, June). Allocation of European Green COVID-19 recovery packages to mitigate emissions and create jobs in crisis years. In XVI Congreso de la Asociación Española para la Economía Energética, June 29-30, 2021. Spanish Association for Energy Economics (AEEE).

C9. Karamaneas, A., Campagnolo, L., **Koasidis, K.,** … & Nikas, A. (2021, July). Interlinking climate action and sustainable development: a fuzzy linguistic group decision making framework. In 31st European Conference on Operational Research (EURO 2021), July 11-14, 2021.

C10. Kanellou, E., **Koasidis, K.,** … & Doukas, H. (2021, July). A multiple-criteria evaluation framework for seaport sustainability considering non-homogeneous variables and uncertainty: the case of Piraeus, Greece. In 31st European Conference on Operational Research (EURO 2021), July 11-14, 2021.

C11. Nikas, A., …, **Koasidis, K.,** … & Doukas, H. (2021, July). Identifying optimal COVID-19 recovery packages: a robust IAM-portfolio analysis of renewable energy technological subsidisation. In 31st European Conference on Operational Research (EURO 2021), July 11-14, 2021.

C12. Koutsellis, T., **Koasidis, K.,** … & Doukas, H. (2021, July). Exploring the impact of analyst's choices in fuzzy cognitive maps for climate policy applications. In 31st European Conference on Operational Research (EURO 2021), July 11-14, 2021.

C13. Nikas, A., van de Ven, D. J., Forouli, A., **Koasidis, K.**, Mittal., S., Giarola, S., Gambhir., A., … & Doukas., H. (2021). Allocating global COVID-19 recovery packages over low-carbon

technologies to optimise between emission reductions and employment gains. In the Fourteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2021), November 29 – December 1, 2021.

C14. Nikas, A., Boitier, B., **Koasidis, K.**, Doukas, H., … & Choidi, A. (2021). Co-creating a model inter-comparison exercise with stakeholders in the EU. In the Fourteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2021), November 29 – December 1, 2021.

C15. Campagnolo, L., Delpiazzo, E., Moreno, J., van de Ven, D. J., Chiodi, A., Gargiulo, M., Boitier, B., **Koasidis, K,** & Nikas, A. (2021). Co-creating a model inter-comparison exercise with stakeholders in the EU. In the Fourteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2021), November 29 – December 1, 2021.

C16. Perdana, S., Xexakis, G., **Koasidis, K.,** Vielle, M., Nikas, A., Doukas, H., Gambhir, A., Anger-Kraavi, A., May, E., McWilliams, B., & Boitier, B. (2022). What do experts perceive as critical game-changing innovations to consider in modelling and policy? European Climate and Energy Modelling Platform 2022 (ECEMP). October 5 - October 7, 2022.

C17. **Koasidis, K.,** Karamaneas, A., Nikas, A., Koutsandreas, D., & Doukas, H. (2022). Stakeholder-informed modelling to decarbonise the Greek power sector in the light of today's energy crisis. European Climate and Energy Modelling Platform 2022 (ECEMP). October 5 - October 7, 2022.

C18. Nikas, A., Van de Ven, D.J., Forouli, A., **Koasidis, K.,** Mittal, S., Giarola, S., Gambhir, A., Koberle, A.C., Chiodi, A., Cassetti, G., Gargiulo, M., Perdana, S.P., Vielle, M., Koutsellis, T., & Doukas, H. (2021). Investigating optimal allocation of green recovery funds in the EU. 2021 EU Conference on modelling for policy support: collaborating across disciplines to tackle key policy challenges, November 22-26, 2021.

C19. **Koasidis, K.,** Koutsellis, T., Xexakis, G., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). The impacts of a polycrisis on sustainable development: Experts' vs. modellers' expectations and the capabilities of IAMs. In the Sixteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2023.), November 14–16, 2023, Venice, Italy.

C20. Wachsmuth, J., Warnke, P., Gambhir, A., Giarola, S., **Koasidis, K**., Mittal, S., ... & Doukas, H. (2023). Co-creating socio-technical net-zero scenarios based on IAM scenarios and socio-technical analyses. In the Sixteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2023.), November 14–16, 2023, Venice, Italy.

C21. Bailie, A., Pied, M., Vaillancourt, K., Bahn, O., **Koasidis, K.,** Gambhir, A., ... & Nikas, A. (2023). Delving in the impact of stakeholder input in modelled pathways: Canada's path to net-zero and the role of game-changing innovations. In the Sixteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2023.), November 14–16, 2023, Venice, Italy.

C22. Nikas, A., Frilingou, N., Heussaff, C., Fragkos, P., …, **Koasidis, K.,** …, & van de Ven, D.J. (2023). Three corner options for replacing Russian gas imports in Europe: a multi-model analysis. In the Sixteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2023.), November 14–16, 2023, Venice, Italy.

C23. Boitier, B., Nikas, A., Gambhir, A., **Koasidis, K.,** …, & Mittal, S. (2023). A multi-model analysis of the EU's path to net zero. In the Sixteenth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC 2023.), November 14–16, 2023, Venice, Italy.

C24. Nikas, A. Frilingou, N. Heussaff, C. Fragkos, P., …, **Koasidis, K.,** …, & van de Ven, D.J. (2023). A multi-model assessment of European strategies to eliminate Russian gas imports. In the European Climate and Energy Modelling Platform 2023 (ECEMP), October 5-6, 2023, online.

C25. Boitier, B., Nikas, A., Gambhir, A., **Koasidis, K.,** …, & Mittal, S. (2023). A multi-model assessment of the EU's path to net zero: aligning near-term action with long-term visions. In the European Climate and Energy Modelling Platform 2023 (ECEMP), October 5-6, 2023, online.

C26. **Koasidis, K.,** Nikas, A., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Equipment- and time-constrained data acquisition protocol for load forecasting through energy disaggregation. In the 7th International Conference on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency (RESEE2023), October 12-14, 2023, Nicosia, Cyprus.

C27. **Koasidis, K.,** Koutsellis, T., Xexakis, G., Nikas, A., & Doukas, H. (2023). How do scenario developers and scenario end-users perceive the impact of crises on sustainability from an energy modelling perspective?. In the 7th International Conference on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency (RESEE2023), October 12-14, 2023, Nicosia, Cyprus.

C28. Frilingou, N., **Koasidis, K.,** Nikas, A, Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Feasibility study of mandatory Minimum Energy Performance Standards (MEPS) for existing buildings in Greece existing buildings in Greece. In the 7th International Conference on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency (RESEE2023), October 12-14, 2023, Nicosia, Cyprus.

Αντίκτυπος δημοσιεύσεων

Πέρα από σημαντικό αριθμό αναφορών (>450), η επίδραση των δημοσιεύσεων που προέκυψαν από την διδακτορική διατριβή αποτυπώνεται στη συνεισφορά τους σε σημαντικές μελέτες από αναγνωρισμένους ερευνητικούς φορείς και φορείς χάραξης/υποστήριξης πολιτικής και στην παρουσία τους σε εμβληματικές παγκόσμιες εκδηλώσεις.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι 6 από τις προαναφερθείσες δημοσιεύσεις [J6, J7, J14, J15, J16, J18] στοιχειοθέτησαν και αποτέλεσαν μέρος της βιβλιογραφίας της 6ης Έκθεσης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC AR6 - WGIII) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών αναφερόμενες σε 7 διαφορετικά κεφάλαια. Ευρήματα της κοινωνικο-τεχνικής μελέτης για το βιομηχανικό τομέα [J6] αναφέρθηκαν από την ετήσια οικονομική έκθεση της Εθνικής Τράπεζας του Βελγίου για το 2022.

Ταυτόχρονα η δημοσίευση που αφορά τη βελτιστοποίηση των πακέτων πράσινης ανάκαμψης από την πανδημία της COVID-19 στην Ευρωπαϊκή Ένωση [J1], συνοδευόμενη από τη σχετική μελέτη σε παγκόσμιο επίπεδο [J10], αποτέλεσαν μέρος συνοδευτικού ερευνητικού εγγράφου (τύπου policy brief) ("*Climate Action in the Post-COVID-19 World*") με το οποίο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συμμετείχε στις διεργασίες κλιματικής διπλωματίας του εμβληματικού COP26 (2021 United Nations Climate Change Conference) στη Γλασκώβη. Η αντίστοιχη μελέτη

στοιχειοθέτησε επίσης κεφάλαιο του βιβλίου του Οικονομικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας [B4] αναφορικά με την ενεργειακή κρίση στη χώρα («*Η ενεργειακή κρίση και η ελληνική οικονομία*»). Σε συνέχεια του COP26, η μελέτη [J11] που αξιολογεί τις υφιστάμενες πολιτικές και μακροπρόθεσμους στόχους εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο που ανακοινώθηκαν στη συνδιάσκεψη έλαβε σημαντική προσοχή από τον διεθνή και εγχώριο τύπο, με άρθρα στο Bloomberg, The Conversation και την Καθημερινή να αναπαράγουν σχετικά αποτελέσματα της. Ταυτόχρονα, η μελέτη [J12] που συνιστά την επέκταση της λογικής σεναρίων «Που βαδίζει η Ευρώπη» ώστε να συμπεριλάβει τους μακροπρόθεσμους στόχους για ένα σύστημα μηδενικών εκπομπών στην Ευρώπη παρουσιάστηκε σε εκδήλωση στα πλαίσια του COP28 (2023 United Nations Climate Change Conference) στο Ντουμπάι.

Παράρτημα Β: Ανοιχτή Επιστήμη

Σε όλη τη διάρκεια υλοποίησης της διατριβής, καταβάλαμε σημαντική προσπάθεια να γίνει σεβαστό το πλαίσιο ανοιχτής επιστήμης. Υπό αυτό το πρίσμα, τα βασικά μοντέλα και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν σε εκτεταμένο βαθμό για να στοιχειοθετήσουν τις μελέτες που παρουσιάστηκαν είναι δημοσιευμένα σε καθεστώς ανοιχτού κώδικα, όπως αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα.

Εργαλείο	Χρήση Κώδικα	Λινκ Κώδικα
APOLLO	Εργαλείο ομαδικής λήψης αποφάσεων που ενσωματώνει την μεθοδολογία 2-tuple Group TOPSIS που χρησιμοποιήθηκε στα Κεφάλαια 7 και 8.	https://github.com/i2ampari s/Apollo
In-Cognitive	Εργαλείο προσομοιώσεων FCM που ενσωματώνει τη μεθοδολογία Monte Carlo Fuzzy Cognitive Mapping που χρησιμοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 9.	https://github.com/Elsevier SoftwareX/SOFTX-D-22-00449
GCAM	Ολοκληρωμένο μοντέλο αποτιμήσης για την μελέτη της επίδρασης κλιματικών πολιτικών και δράσεων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, που αξιοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 10.	https://github.com/JGCRI/g cam-core
AUGMECON-Py	Μοντέλο πολυστοχικού προγραμματισμού που ενσωματώνει την AUGMECON-R για την βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων που ενσωματώνει προσομοιώσεις Monte Carlo για την ανάλυση ευρωστίας. Χρησιμοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 10.	https://github.com/Elsevier SoftwareX/SOFTX-D-22-00131

DREEM	Μοντέλο προσομοιώσεων κατανάλωσης και επίδρασης δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια, που αξιοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 11.	https://github.com/TEESlab-UPRC/DREEM

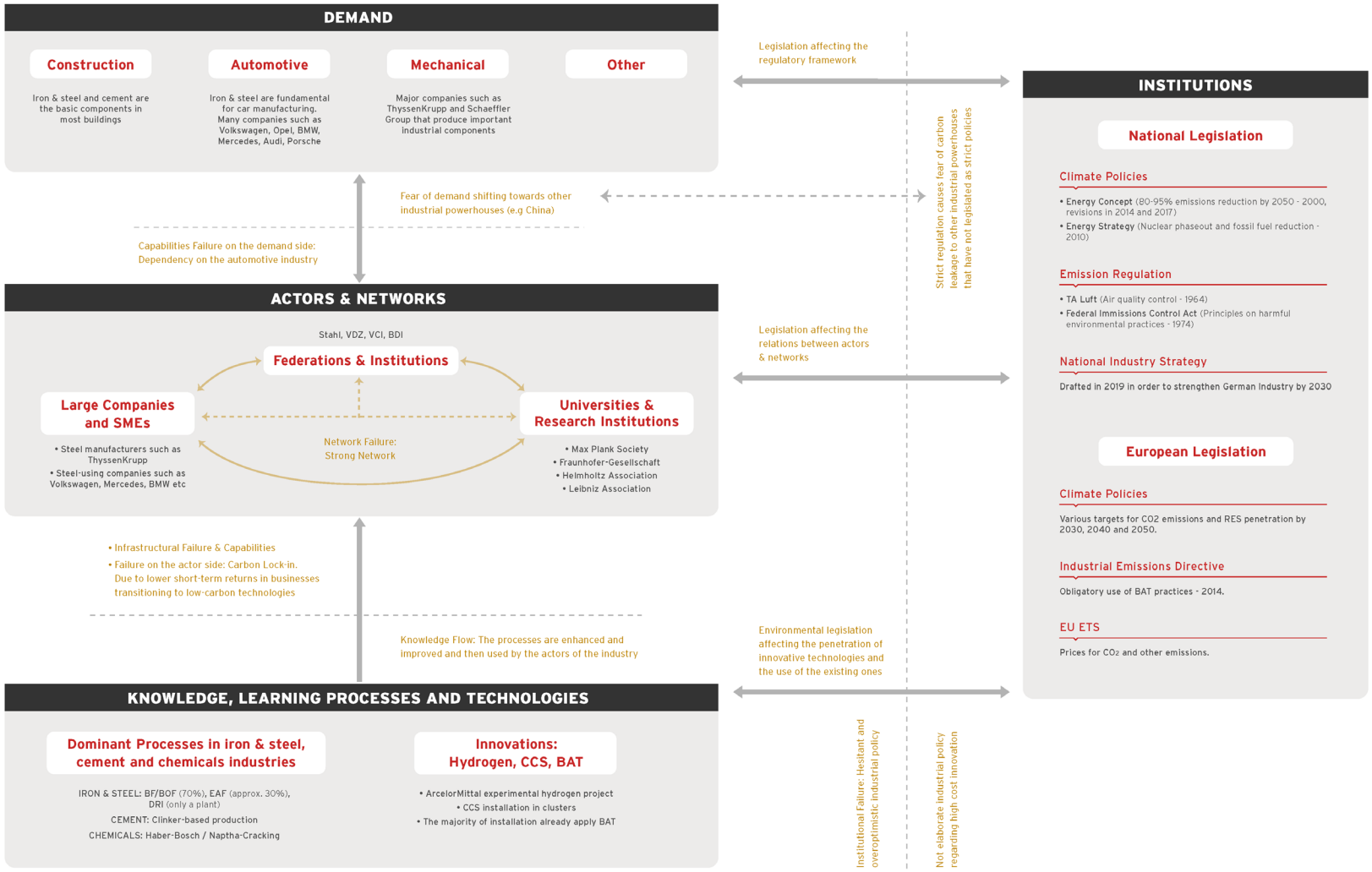
Ταυτόχρονα, αναγνωρίζουμε ότι ανοιχτή επιστήμη δεν σημαίνει μόνο ανοιχτός κώδικας στα μοντέλα, αλλά και ανοιχτά δεδομένα προκειμένου να είναι γνωστές οι υποθέσεις εργασίας πάνω στις οποίες στηρίζονται οι μελέτες καθώς επίσης και τα αποτελέσματα να παρουσιάζονται διαφανώς. Στον παρακάτω πίνακα παρέχουμε πρόσβαση στα αποθετήρια δεδομένων για τις μελέτες που πραγματοποιήθηκε πρωτογενής λήψη ή παραγωγή δεδομένων (οι κοινωνικοτεχνικές αναλύσεις δεν παρουσιάζονται καθώς αφορούν δευτερογενή εύρεση δεδομένων και βιβλιογραφίας—τα δεδομένα σε αυτή την περίπτωση μπορούν να εντοπιστούν κατά περίπτωση από τις αναφορές του κάθε κεφαλαίου). Καθώς ανανεώνονται τα ανεβασμένα δεδομένα (λαμβάνοντας υπόψη τα δικαιώματα πρόσβασης των άρθρων) τα ακόλουθα λινκ παραμένουν σταθερά εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη πρόσβαση.

Κεφάλαιο	Περιγραφή Δεδομένων	Λινκ Δεδομένων
7ο	Αφορούν τη συλλογή των δεδομένων κατά το Ευρωπαϊκό Εργαστήριο και την παγκόσμια έρευνα για ρηξικέλευθες καινοτομίες	https://zenodo.org/record/7229824 https://zenodo.org/record/7704465
8ο	Αφορούν τη συλλογή των δεδομένων κατά το Εργαστήριο στην Κένυα	https://zenodo.org/record/7233859
9ο	Αφορά τα δεδομένα εισόδου, εξόδου και παραμέτρων της προσομοίωσης FCM	https://zenodo.org/record/7071303
10ο	Δεδομένα από τα ολοκληρωμένα μοντέλα αποτίμησης που αξιοποιήθηκαν για τα σενάρια αναφοράς και τα σενάρια ανάκαμψης	https://zenodo.org/record/5619308 https://zenodo.org/record/7767193 https://zenodo.org/record/6

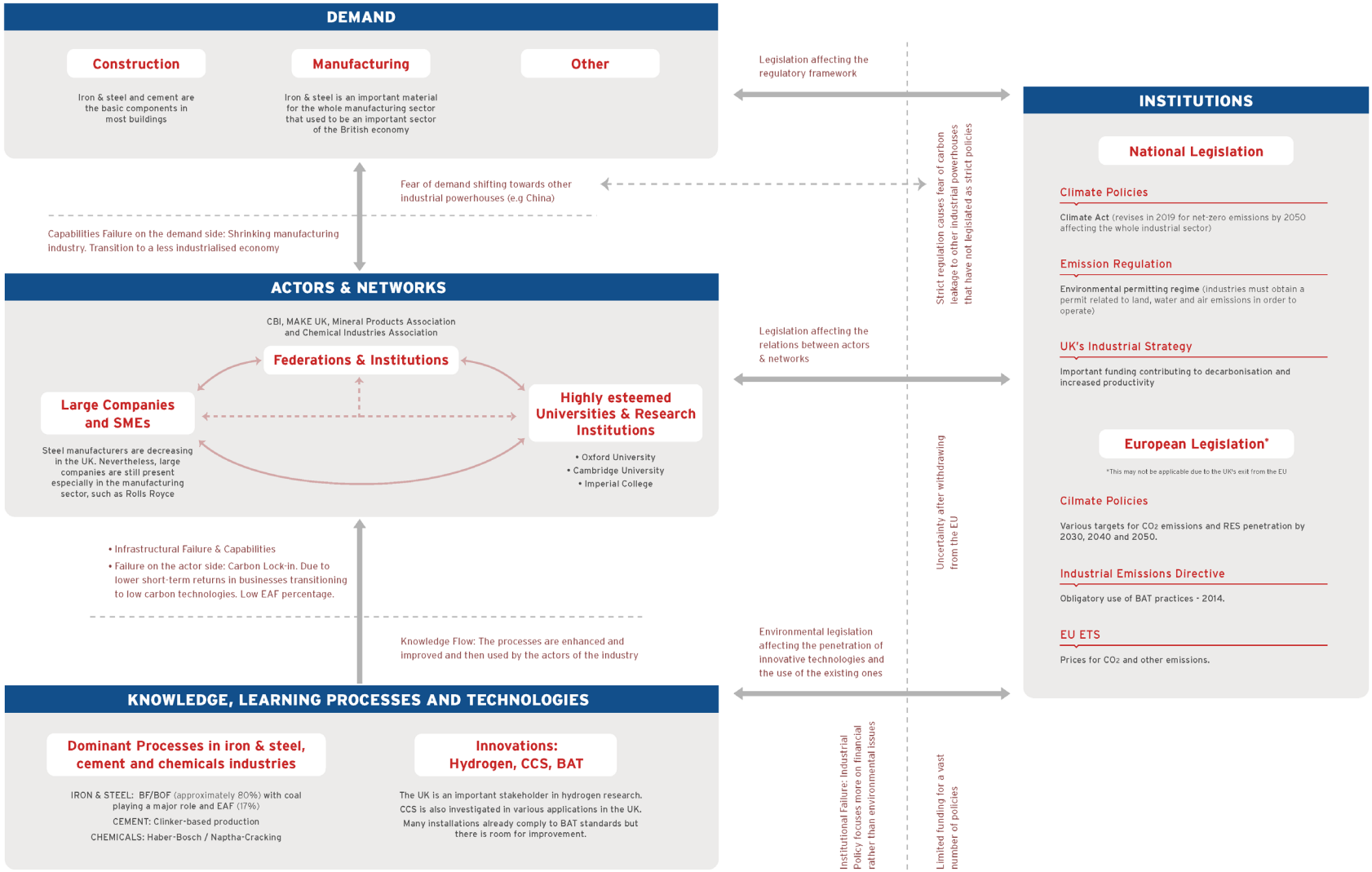
		998390 https://zenodo.org/record/7271736
11ο	Δεδομένα από την προσομοίωση νομισματοποίησης	https://zenodo.org/record/7197922

Παράρτημα Γ: Χαρτογραφήσεις Κοινωνικοτεχνικών Αναλύσεων

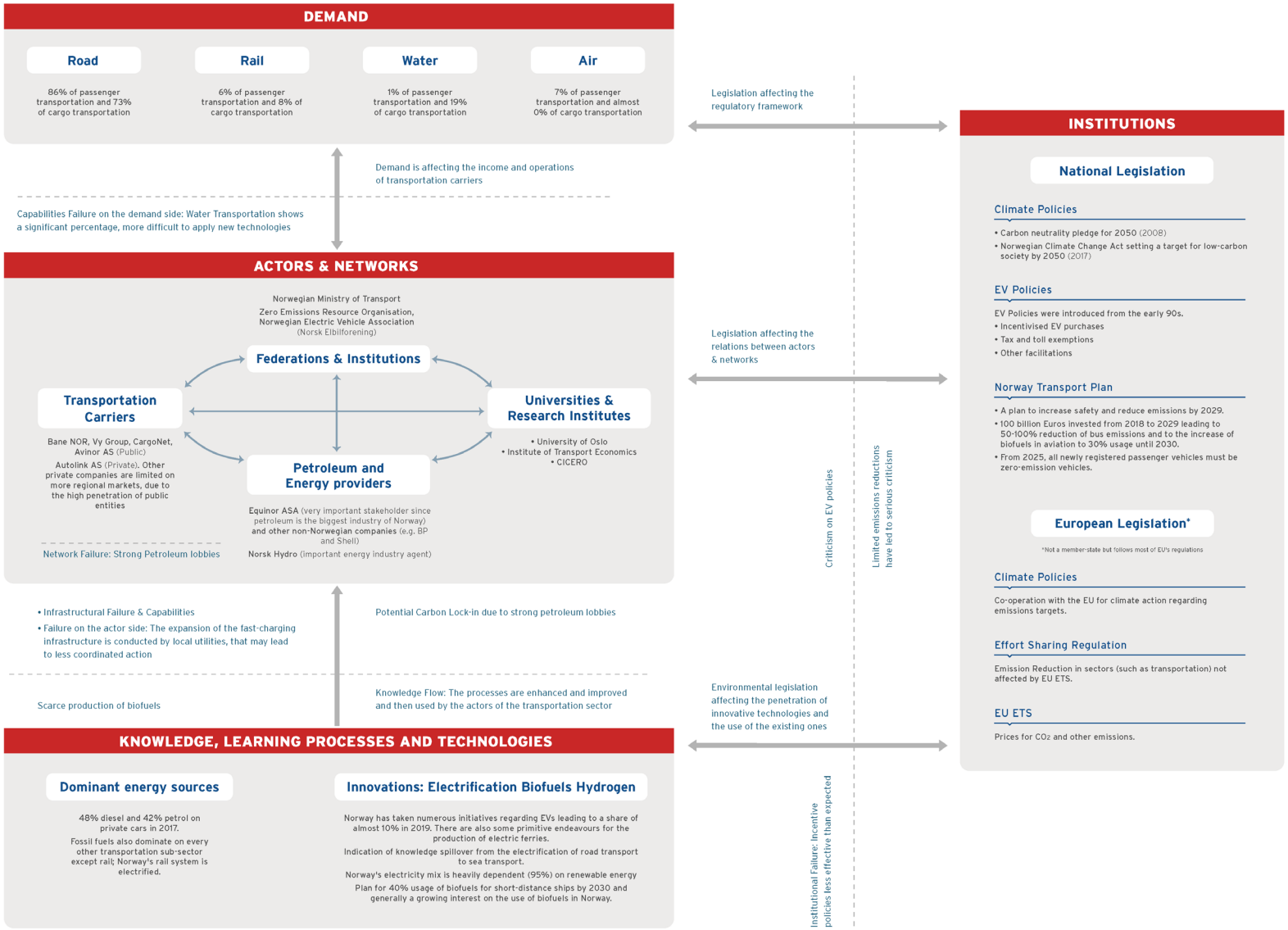
The German Low-Carbon Industry Transition from a Sectoral Innovation and System Failures Perspective



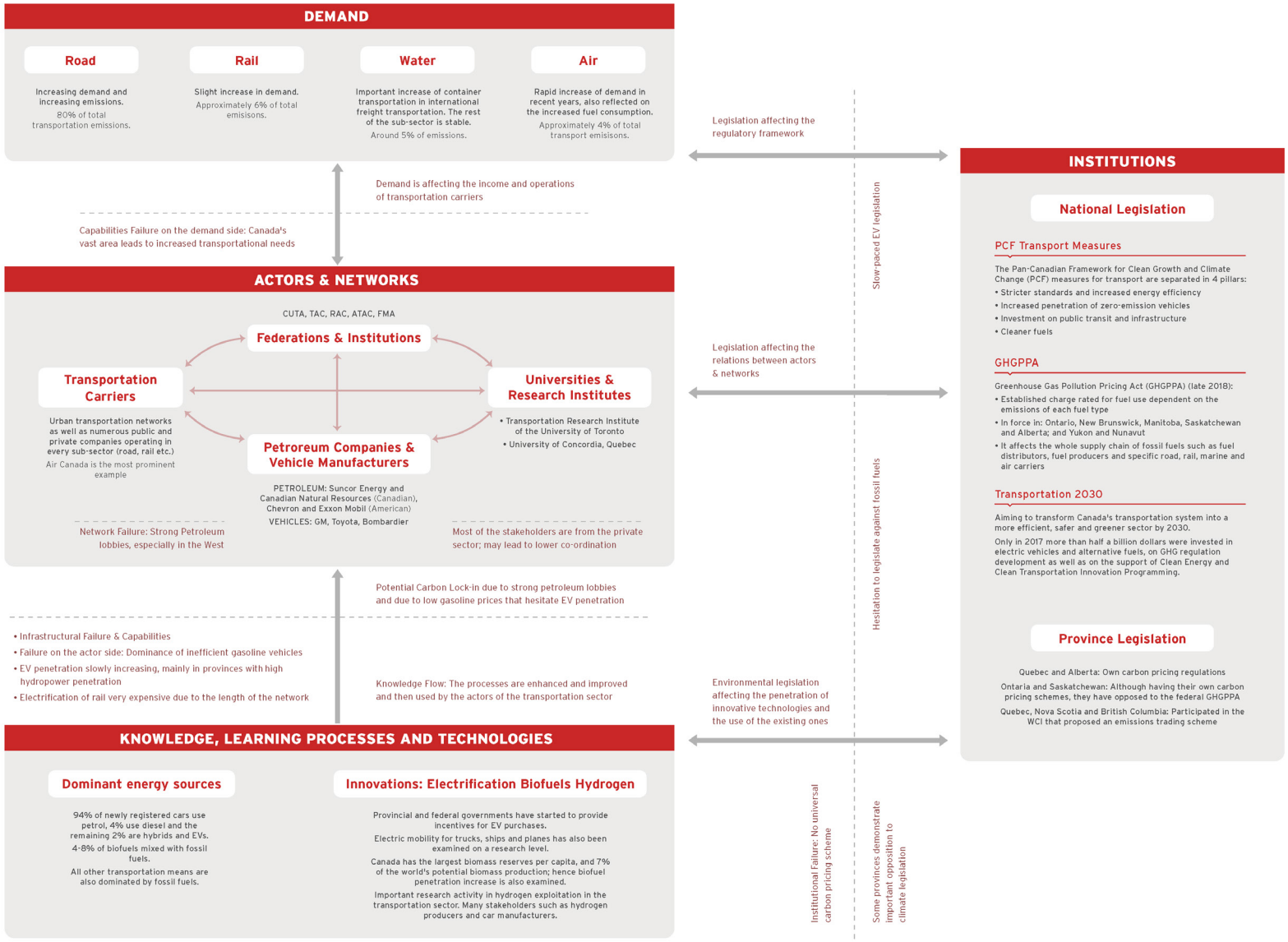
The UK Low-Carbon Industry Transition from a Sectoral Innovation and System Failures Perspective



A Sectoral Innovation System Analysis of the Transport Sector in Norway



A Sectoral Innovation System Analysis of the Transport Sector in Canada in Light of the Paris Agreement



A multi-level perspectice of the power sector delignitisation in Greece

LANDSCAPE

Lignite Resources

The abudnance of lignite resources minimised the necessity for fossil fuel imports which proved very important for the economical growth of post-war Greece.

The abundance of lignite resources mainly in Western Macedonia has also been the main pillar of the formation of the mainland power grid.

Energy Security

Greece has no resources regarding natural gas and oil.

Therefore, natural gas and oil plants operation is completely dependent on imports which can be affected by diplomatic ties etc.

Social Protest

There were several communities in Greece that strongly opposed the installation of wind plants, claiming wind turbines create a visual nuisance and deteriorate the natural beauty of the landscape, further coupled with concerns over ecosystem disturbance and overall interventions.

Mainly present on the second period.

Climate Change

From the beginning of the 21st century climate change was prioritsed as one of the main problems that societies have to face.

This is also evident on the electricity generation mix since the use of lignite started to significantly reduce in 2006.

Political Agenda

The common alternation of power between parties of different ideological orientation featured varying ideological orientation regarding the energy sector, climate change aspects and diplomatic ties with neighboring countries, with different implications for energy security.

This issue is not so effective on the second period.

Platform on Coal Regions in Transition

In 2017 established by the EU, this initiative aims to assist lignite-dependent countries to shut down their lignite plants without creating turbulence to local economies relying on lignite mining and exploitation.

Western Macedonia and Megalopolis are the regions concerned by this initiative in Greece.

Financial Crisis (2007-2008) and Economic Recession (2009)

The global financial crisis in 2007 and 2008 led to the recession of the Greek economy in 2009, lasting for several years. One of its consequences was an important reduction on electricity consumption.

The financial crisis also affected the Greek energy sector since some of the terms and conditions of the 3 MoUs signed by the Greek government included austerity and regulatory measures related to the electricity market.

Liberalisation of the energy market, national plan for GHG reduction, FITs and FIPs, the division of the PPC in various entities and other legislation

In 1999 the liberalisation of the energy market led to the penetration of natural gas power plants, mainly constructed by private companies. This law also led to the construction of numerous RES power plants.

The national plan for GHG emission reduction set a target of a 20% RES penetration by 2010, according to the Kyoto Agreement.

On the second period, the introduction of FITs led to a tremendous increase of PV power plants in 2011, halted by the FIPs in 2015.

The division of the PPC in combination with the prior liberalisation of the energy market led to a higher penetration of private entities to the energy market.

EU Legislation affecting Greece since being a member-state (e.g. Energy planning and EU ETS)

In accordance with EU's targets to its emissions, Greece had to submit its National Renewable Energy Action Plan in 2009.

Moreover, Greece as a member-state of the EU was affected by the EU ETS and specifically by its 3rd phase that significantly increased emissions prices, mainly affecting lignite plants that produce high amounts of polluting emisisons.

Landscape affecting the penetration of niche technologies

Window of opportunity: Liberalisation of the market

Landscape affecting the penetration of niche technologies

Window of opportunity: Historically low RES electricity generation prices

REGIME

First Period (1990-2008)

		1990	2008
Lignite	Lignite was the main electricity generation source in Greece due to the abundant lignite resources in Western Macedonia. The exploitation of these resources started in the 1950s increasing the energy security of Greece.	72%	Reduced to 52%
Oil	Oil is an important energy source for electricity generation in the Greek islands that are not interconnected to the mainland power grid. There were also few oil power plants in the mainland grid.	22%	Reduced to 16%
Hydro & RES	In 1990 only big hydro plants were installed. In 1999 an important increase in RES (mainly due to wind farms) was observed that continued on the following years.	6%	Increased to 10%
Natural gas	The first planted was installed in 1996 and since 2008 9 plants were installed, mainly from private companies.	0%	Increased to 22%

Second Period (2009-2017)

		2009	2017
Lignite	This further decrease resulted from the increased penetration of RES and the high emissions prices. 8 lignite plants shut down and no new ones were constructed.	52%	Further reduced to 34%
Oil	This fall was led by the installation of RES power plants and the interconnection of some islands with the mainland grid. Moreover, the few oil plants operating in the mainland grid shut down.	16%	Further reduced to 10%
Hydro & RES	Hydro comprises 10% of Greece's electricity generation in 2017. The remaining 15% results from the significant increase of wind and solar power plants.	10%	Further increased 25%
Natural gas	More natural gas plants were constructed replacing the reduced lingite electricity production.	22%	Further increased to 31%

Nowadays (not thoroughly examined in the MLP)

		2017	2020
Lignite	According to the NECP's target for complete delignitisation by 2028, many lignite plants have already been shut down with the rest being shut down by 2022, except the new Ptoleimada V plant that will be converted to a natural gas plant by 2028).	34%	Significantly decreased to 12%
Oil	Still many islands are not interconnected with the mainland grid.	10%	almost steady at 10%, slightly decreased
Hydro & RES	Hydro comprises 7% of total energy generation. RES are accountable for 32% of electricity generation, mainly due to the hisotrically low prices. Moreover, the reduction of lignite usage is also contributing to the rise of RES energy generation.	25%	Significantly increased to 39%
Natural gas	More natural gas plants were constructed substituting for the reduced lingite electricity production.	31%	Further increased to 39%

PPC divided into various entities responsible for the production, transmission and distribution of electricity

2020 NECP, aiming on total delignitisation by 2028

Niches trying to penetrate into the regime

Niches penetrating even further to the regime

NICHES

Solar

- Solar-thermal energy for water heating (already very popular)
- PV power plants (increased penetration in the second period)
- CSP plants (not common)

Wind

- On-shore wind farms (becoming increasingly popular from the first period, booming in the second one)
- Off-shore wind farms (not common at all)

Hydro

- Big hydro plants (quite common even before 1990)
- Small hydro plants (increased popularity in the second period)
- Pump Energy storage (hybrid) plants (slowly penetrating during the second period)

Biomass

Mainly based on the combustion of agricultural residue (not very common)

Other

- CCS technology for natural gas and lignite plants (not applied yet)
- Ocean Energy (not applied yet)
- Hydrogen exploitation (not applied yet)

A Multi-Level Perspective of Brazil's Transport Decarbonisation Potential, Focusing on the Biodiesel Technological Innovation System

LANDSCAPE

Infrastructure

Poor infrastructure until 1960.
1970-1990: mainly road projects leading to deforestation and settlers immigration.
Limited railway expansion.
After 1990: many ports were constructed.

Social Acceptance

The transition from dictatorship to democracy affected the policy regarding the use of biofuels.
The Pro-Alcool policy was legislated by the military regime and faced significant criticism in 1989 due to that fact.
Lately food security issues have also risen.
On the other hand, Latin America is demonstrating greater approval regarding genetically modified agricultural resources; hence soybean cultivation is generally more accepted than in other regions such as Europe.

Sugarcane Prices

The high prices of sugarcane combined with the low energy threshold of biofuels led to reduced production.

Domestic Oil Resources

First oil drilling in 1897.
Important oil resources.

Domestic Biofuels Resources

Brazil is the second largest producer of biofuels globally.

Economic growth in 1960s

Oil Crises (1973 & 1978)

The increase in oil prices led to a change of strategy, leading to higher biofuels usage.

Financial Crises

The financial crisis of 2014 coupled with the financial crisis of 2008 has led to the creation of new opportunities for the industry of biofuels.

Window of opportunity: Changed strategy towards ethanol due to oil crises

Window of opportunity: Biofuels restarted due to financial crises

TRANSPORT REGIME

First Period (1970-1990)

		1970	1990
Gasoline	Mainly used on passenger vehicles.	55%	Reduced to 22%
Diesel	Mainly used in freight transportation and passenger buses. It stayed protected from the ethanol diffusion that reduced gasoline usage.	34%	Increased to 51%
Other oil products	Used in maritime and airplane transportation. Mainly intact towards this period.	10%	Steady at almost 10%
Biofuels	The main type of biofuels used in this period is ethanol, substituting gasoline.	Nearly 0%	Increased to 18%
Natural Gas		10%	Nearly 0%
Actors	• Petrobras, global oil company located in Brazil • IBP (Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute), introduced to represent the industry's companies		
Legislation	Pro-Alcool: Promoting the use of ethanol instead of imported oil.		

Second Period (1990-2005)

		1990	2005
Oil Products	They also include diesel and gasoline. Slight increase (topped at 87,5% in 2001). Passenger vehicles used solely gasoline. Freight transport, on the other hand, is heavily dependent on diesel.		Increased to almost 84%
Gasoline	Mainly used in passenger vehicles. Faced an important decrease because of the oil crises and the introduction of ethanol.	Reduced to 22%	
Diesel	Mainly used in freight transportation and passenger buses. It stayed protected from the ethanol diffusion that reduced gasoline usage.	Increased to 51%	
Other oil products	Used in maritime and airplane transportation. Mainly intact throughout this period.	Steady at almost 10%	
Biofuels	The main type of biofuels used in this period is ethanol, substituting gasoline. This transition started in 1976, but demonstrated great pace after 1980 mainly due to the Pro-Alcool policy. High sugarcane prices reduced ethanol production.	Increased to 18%	Reduced to 13%
Natural Gas	No important increase in this period. No policies related to this fuel type.	Nearly 0%	Around 3%
Actors	• Petrobras, global oil company located in Brazil • IBP (Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute), introduced to represent the industry's companies • National Petroleum Agency (ANP) • National Council for Energy Policy (CNPE)		
Legislation	1997: New framework for the distribution of oil.		

Third Period (2005-2018)

		2005	2018
Oil Products	They also include diesel and gasoline. New LDVs introduced in 2003 that led to a more efficient fleet. Passenger vehicles used solely gasoline. Freight transport, on the other hand, is heavily dependent on diesel.	Almost 84%	Reduced at 77%
Biofuels	Mainly increased due to national environmental policy. Brazil focuses on self-consumption. 10% mandate. Key policy questions: How do we move forward? How to improve variety in biofuel feedstock?	13%	Increased to almost 20%
Natural gas	No important increase in this period. No policies related to this fuel type.	Around 3%	Around 3%
Actors	• Petrobras, global oil company located in Brazil • IBP (Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute), introduced to represent the industry's companies. • National Petroleum Agency (ANP) • National Council for Energy Policy (CNPE)		
Legislation	2005: PNBP (Brazilian Biodiesel Program): Aiming for the increased use of biofuels such as biodiesel. 2017: RenovaBio with higher biofuel targets, affected by the NDCs set in the Paris Agreement.		

Window for more environmental policies

NDCs set after Paris Agreement

BIODIESEL TIS

1. Entrepreneurial Activities

10 large companies and many smaller ones.
The companies have mainly focused on soybean, although there are requirments for other biofuels too.

2. Knowledge Development

Many institutions since the early 20th century have been involved in research related to biofuels. This led to cumulative knowledge that contributed to biodiesel diffusion.
Sugar and Alcohol Institute, National Institute of Technology, Industrial Technological Institute, etc.

3. Knowledge Diffusion

Knowledge diffusion is mainly achieved through lesigiation that encourages the use of biofuels.

4. Guidance of the Search

Lately research is focused on agricultural issues such as the cultivation of soybean. Brazil is one of the global powerhouses of soybean production possessing a significant knowledge base on this sector.
Guidance is also provided with national programs such as OVEG (National Energy Program from Vegetable Oils).
Expansion of research towards other biofuels crops instead of focusing only on soybean production is deemed necessary.

5. Market Formation

The sector has been expanded in recent years, mainly due to the important natural resources and the diversity of its stakeholders
Ethanol increased; no competition from biodiesel.
Brazil focuses on self-consumption.
Biodiesel production seems to be driven less by environmental benefits, and rather by political and financial motives, due to pressures from associations like ABIOVE and powerful lobbies operating in the soy sector.
Biodiesel is also slightly used in rail transportation.

6. Resource Mobilisation

The PNPB legislation has led to mobilisation of important resources towards the use of biofuels and especially biodiesel since it has set specific targets.
Concerns on financial viability due to tax incentives.
Only soybean can scale up production to meet demand: Concerns over appropriability and capability of other feedstock to meet demand.
Moreover, the broad participation of stakeholders in soybean production has attracted private investments.
Automotive industries are not heavily concerned since the current biofuel mix targets do not require important modifications.

7. Creation of legitimacy/ counteract resistance to change

Significant societal approval.
The low prices of biofuels in the region have attracted the attention of media.
Strong community engagement.

A Multi-Level Perspective of Argentina's Transport Decarbonisation Potential, Focusing on the Biodiesel Technological Innovation System

LANDSCAPE

Infrastructure

Many infrastructural projects until 1960, emphasis on rail transport.

1960s: Privatisation of infrastructure leading to low maintenance. This led to the growth of road transportation.

Nevertheless, road quality is still considered low.

Social Acceptance

1976: The government lost support due to the liberalisation of the market due to a financial crisis.

Lately food security issues have also risen.

On the other hand, Latin America is demonstrating greater approval regarding genetically modified agricultural resources; hence soybean cultivation is generally more accepted than in other regions such as Europe.

Conflicts with exporting countries

The nationalisation of YPF in 2012 led to tensions with important markets importing biofuels from Argentina, such as Spain.

Financial Crises

The first financial crisis was observed during 1975-1990 when the workforce of the country turned from industry to services. Moreover, during this period the incentivisation of Natural Gas was a dominant policy that led to prosperity during 1990-1998.

Afterwards, a new recession occurred (due to other countries facing problems) leading to devaluation of the Argentinian Peso. In this manner, Natural Gas prices were lowered, which further increased its demand.

Domestic Biofuels Resources

Argentina is the third largest producer of biofuels globally.

TRANSPORT REGIME

Natural Gas is usually used as a transition fuel. Hence prolonged dominance may lead to a lock-in.

Landscape pressure: Conflicts with Spain decreased exports after 2012

Window of opportunity: Biodiesel policy in 2005

First Period (1970-1990)

		1970	1990
Oil Products	No specific percentages are available for this period. They are dominant during the whole period since no other major fuel was used for transportation during this period.	Dominant	Almost 93%
Biofuels	No specific policy on biofuels during this period and almost no usage.	0%	0%
Natural gas	Natural Gas is starting to demonstrate an important increase during this period due to the incentivisation policies during the 1980s.	Nearly 0%	Around 7%
Actors	• Ministry of energy and mining • 1957: The Argentinian Institute of Oil & Gas (IAPG) was established to represent the interests and support the activities of oil and natural gas companies. • Yacimientos Petroliferos Fiscales (YPF), public company which distributed gas in many developing markets in the country. • Gas de Estado (GdE), also a public company involved in the distribution of natural gas. Both YPF and GdE were privatised in 1989.		
Legislation & policy	Natural Gas is starting to demonstrate an important increase during this period due to the incentivisation policies during the 1980s.		

Second Period (1990-2005)

		1990	2005
Oil Products	They are dominant during the whole period since no other major fuel was used for transportation purposes.	Almost 93%	Around 71%
Biofuels	No specific policy for biofuels during this period.	0%	0%
Natural gas	Between 1998 and 2003 the devaluation of the Argentinian Peso led to Natural Gas prices being favourable. Natural Gas has become part of the regime.	Around 7%	Almost 28%
Actors	• Ministry of energy and mining. • Argentinian Institute of Oil & Gas (IAPG) • Yacimientos Petroliferos Fiscales (YPF), became private in 1989 • Gas de Estado (GdE), also became private in 1989		
Legislation & policy	2003: Efforts to boost soybean exports.		

Third Period (2005-2018)

		2005	2018
Oil Products	They are dominant during the whole period since no other major fuel was used for transportation purposes.	Around 71%	Around 74%
Biofuels	Biodiesel production was mainly exported until 2012. Landscape pressures led Argentina to aim for other markets but also increase self-consumption. Also, Argentina quickly reached the legal threshold of 10% in the fuel mix. Key challenges: further increasing the biodiesel share; banalcing financial benefits from exports with environment gain from self-consumption	0%	9%
Natural gas	Use of natural gas remained stable. Due to increase in demand its share was reduced.	Almost 28%	Around 16%
Actors	• Ministry of energy and mining • Argentinian Institute of Oil & Gas (IAPG) • Yacimientos Petroliferos Fiscales (YPF), nationalised in 2012 (was also public until 1989) • Gas de Estado (GdE), still private		
Legislation & policy	2007: Laws on sustainability (e.g. Law 26,197). 2016: Targets for specific mix of biofuels with oil products.		

Windows of opportunity:
1980s: many cars turned to CNG due to the financial crisis
1998 -early 2000s: Favourable Natural Gas prices

BIODIESEL TIS

1. Entrepreneurial Activities

6 large companies. 3 domestic and 3 global.

The companies have mainly focused on soybean, although there are requirments for other biofuels too.

2. Knowledge Development

There are not many research institutions in Argentina and there was a slower development (in comparison with Brazil) regarding research.

3. Knowledge Diffusion

Knowledge diffusion is mainly achieved through legislation that encourages the use of biofuels.

4. Guidance of the Search

Lately research is focused on agricultural issues such as the cultivation of soybean. Argentina is one of the global powerhouses of soybean production possessing a significant knowledge base on this sector.

Expansion of research in other biofuels crops instead of focusing only on soybean production is deemed necessary.

5. Market Formation

Barriers for domestic demand since small farmers are facing difficulties due to high taxes.

The sector has been expanded in recent years, mainly due to the important natural resources.

Ethanol is also increasing since there is no competition from biodiesel.

6. Resource Mobilisation

Law 26,093 has led to mobilisation of important resources towards the use of biofuels and especially biodiesel since it has set specific targets.

Moreover, the broad participation of stakeholders in soybean production has attracted private investments.

Automotive industries are not heavily concerned since the current biofuel mix targets do not require important modifications.

Concerns over financial viability due to tax incentives.

7. Creation of legitimacy/ counteract resistance to change

Significant societal approval.

The low prices of biofuels in the region have attracted the attention of media.

Strong community engagement.