



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση
των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κίμων Π. Γεωργίου

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση
των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κίμων Π. Γεωργίου

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική την 28^η Φεβρουαρίου 2024

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

.....

Κίμων Π. Γεωργίου

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

Copyright © Κίμων Γεωργίου, 2024

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 – Λέξεις κλειδιά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογείται η εξέλιξη της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα μέχρι το 2050. Προς αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται το εργαλείο Low Emissions Analysis Platform (LEAP) για τη μοντελοποίηση της ζήτησης με κατάλληλα σενάρια. Αυτά τα σενάρια ζήτησης προσπαθούν να περιγράψουν αισιόδοξες ή απαισιόδοξες προβλέψεις αξιοποιώντας και προβολές του αναθεωρημένου Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος (ΕΣΕΚ 2023). Για τη μοντελοποίηση της προσφοράς χρησιμοποιείται το Open Source Energy Modelling System (OSeMOSYS) επίσης με κατάλληλα σενάρια. Εδώ τα σενάρια μεταβάλλονται βάσει των προηγούμενων σεναρίων ζήτησης όπως και του ΕΣΕΚ και τροποποιούνται επιπλέον με βάση αισιόδοξες ή απαισιόδοξες προβλέψεις για την παύση των ρυπογόνων εκπομπών. Τα αποτελέσματα και των δύο εργαλείων συγκρίνονται μεταξύ τους και με τις προβολές του ΕΣΕΚ.

Για τη ζήτηση, τα αποτελέσματα αυτών των συγκρίσεων καταδεικνύουν ότι οι στόχοι του ΕΣΕΚ είναι εφικτοί, με το φιλόδοξο μοντελοποιούμενο σενάριο να ακολουθεί από κοντά τις προβλέψεις του ΕΣΕΚ και την ηλεκτρική ενέργεια να παίζει καίριο ενεργειακό ρόλο μελλοντικά έως το 2050 όπου θα καταλαμβάνει παραπάνω από το 50% του μεριδίου στο σύνολο των καυσίμων. Επιπλέον, στην εξοικονόμηση ενέργειας καίριο ρόλο θα παίζουν η ενεργειακή αναβάθμιση των συσκευών, η χρήση αποδοτικότερων καυσίμων στις μεταφορές όπως και η μείωση της χρήσης του φυσικού αερίου προς τον αποδοτικότερο ηλεκτρισμό.

Για την προσφορά, τα μοντελοποιούμενα σενάρια φανερώνουν τον σημαντικό ρόλο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, δεδομένου της αφθονία που έχει η χώρα σε τέτοιες πηγές όπως είναι η ηλιακή και η αιολική. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από την πράσινη ενέργεια κρίνεται επιτεύξιμη σε διάφορα κοντινά έτη παύσης εκπομπών την επόμενη δεκαετία λαμβάνοντας υπόψη και την ανάγκη λειτουργίας της νέας λιγνιτικής μονάδας Πτολεμαΐδα V για τα επόμενα μερικά χρόνια. Σημαντικότερο συμπέρασμα από την ανάλυση είναι ότι από το 2035 και μετά η χώρα θα αρχίσει να εξάγει ηλεκτρική ενέργεια σε άλλες χώρες ή να χρησιμοποιεί την πλεονάζουσα τέτοια ενέργεια για παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων όπως το πράσινο υδρογόνο.

Λέξεις κλειδιά: LEAP, OSeMOSYS, ΕΣΕΚ, Ενεργειακή Μοντελοποίηση, ΑΠΕ

Abstract – Keywords

In this thesis, the change in energy supply and demand until 2050 in Greece is evaluated. To this end, the Low Emissions Analysis Platform (LEAP) tool is used to model the demand with appropriate scenarios. These demand scenarios attempt to describe optimistic or pessimistic forecasts and are making use of projections of the updated National Energy and Climate Plan (NECP 2023). To model the supply, the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS) is used with suitable scenarios. Here the scenarios are modified based on the previous demand scenarios as well as NECPs demand projections and are additionally modified based on optimistic or pessimistic forecasts for the cessation of polluting emissions. The results of both tools are compared with each other and with the NECP.

For demand, the results of these comparisons demonstrate that NECPs targets are achievable, with the ambitious modeled scenario closely following NECPs projections and with electricity playing a key energy role going forward by 2050 where it will account for more than 50% of the share in the total fuel mix. In addition, the energy upgrade of devices, the use of more efficient fuels in transport, as well as the reduction of the use of natural gas in favor of the more efficient electricity, will play a key role in saving energy.

For supply, the modeled scenarios reveal the key role of renewable energy sources in power generation, taking in consideration the country's abundance of such sources as is solar and wind. The replacement of fossil fuels by green energy is considered achievable in several close emissions cessation years in the next decade taking into account the need of operation of the new Ptolemaida V lignite power plant for the next few years. An important conclusion from the analysis is that from 2035 onwards the country will start exporting electricity to other countries or use the excess such energy to produce renewable fuels such as green hydrogen.

Key Words; LEAP, OSeMOSYS, NECP, Energy Modeling, RES

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ιωάννη Ψαρρά και ιδιαίτερα τον Αναστάσιο Καραμανέα για τις εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Επιπλέον, ευχαριστώ τη Νατάσα Φριλίγκου, τον Αλέξανδρο Νίκα και τέλος τη μητέρα μου για την υποστήριξη της σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη – Λέξεις κλειδιά.....	5
Abstract – Keywords.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Περιεχόμενα.....	8
Κατάλογος Συντμήσεων.....	11
Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων.....	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	14
1.1 Κλιματική Αλλαγή.....	14
1.2 Έκλειψη πετρελαίου και φυσικού αερίου μελλοντικά.....	16
1.3 Εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία.....	17
1.4 Πώς αντιμετωπίζει αυτές τις προκλήσεις η Ευρώπη.....	18
1.5 Ο ρόλος και οι κινήσεις της Ελλάδος.....	20
Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση του Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος και της δέσμης Fit for 55.....	22
2.1 Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος(ΕΣΕΚ).....	22
2.1.1 Εθνική Στρατηγική.....	23
2.1.2 Άξονες Πολιτικής στην Ηλεκτροπαραγωγή.....	24
2.1.3 Εξισορρόπηση του Δικτύου.....	25
2.1.4 Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	25
2.2 Στόχοι Ευρωπαϊκής Ένωσης – Fit for 55.....	26
2.3 Σύνοψη Στόχων Ελλάδας.....	29
2.3.1 Η Πράσινη Ενεργειακή Μετάβαση.....	29
2.3.2 Στόχοι του ΕΣΕΚ.....	31
Κεφάλαιο 3: Μοντελοποίηση με LEAP και OSeMOSYS.....	34
3.1 Μοντελοποίηση Ζήτησης Ενέργειας – LEAP.....	34
3.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	34
3.1.2 Διεπαφή.....	36
3.1.3 Σενάρια.....	38
3.1.3.1 Κύριες Παραδοχές Σεναρίων.....	39
3.1.3.2 Σενάριο 1 ^ο	40
Αγροτικός Τομέας.....	40
Βιομηχανικός Τομέας.....	41
Τριτογενής Τομέας.....	43
Μεταφορές Επιβατικές.....	44

Μεταφορές Φορτίων	46
Νοικοκυριά	47
3.1.3.3 Σενάριο 2 ^ο	50
Αγροτικός Τομέας.....	50
Βιομηχανικός Τομέας	50
Τριτογενής Τομέας.....	50
Μεταφορές Επιβατικές	51
Μεταφορές Φορτίων	52
Νοικοκυριά	52
3.1.3.4 Σενάριο απαισιόδοξης πρόβλεψη για τα επιβατικά αυτοκίνητα.....	53
3.2 Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας - OSeMOSYS.....	54
3.2.1 Δομή OSeMOSYS	57
3.2.1.1 Sets.....	57
3.2.1.2 Παράμετροι (Parameters).....	58
3.2.1.3 Μεταβλητές (Variables).....	60
3.2.1.4 Εξισώσεις (Equations)	60
3.2.2 Σενάρια	63
3.2.2.1 Σενάριο 1 ^ο	64
Ηλεκτρική Ζήτηση 1 ^ο Σεναρίου	64
Μεταβολή Εκπομπών 1 ^ο Σεναρίου.....	64
3.2.2.2 Σενάριο 2 ^ο	65
Ηλεκτρική Ζήτηση 2 ^ο Σεναρίου	65
Μεταβολή Εκπομπών 2 ^ο Σεναρίου.....	65
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα Μοντέλων	66
4.1 Αποτελέσματα Εργαλείου LEAP.....	66
4.1.1 Εξηλεκτρισμός.....	66
Αγροτικός Τομέας.....	66
Βιομηχανικός Τομέας	66
Τριτογενής Τομέας.....	67
Τομέας των Μεταφορών.....	68
Τομέας των Νοικοκυριών	69
Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	70
4.1.2 Ολική Κατανάλωση Ενέργειας	71
Αγροτικός Τομέας.....	71
Βιομηχανικός Τομέας	72
Τριτογενής Τομέας.....	73
Τομέας των Μεταφορών.....	74

Τομέας των Νοικοκυριών	75
Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας.....	76
Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα	77
Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο	78
4.1.3 Σύγκριση αισιόδοξης, ισορροπημένης και απαισιόδοξης πρόβλεψης για τα επιβατικά αυτοκίνητα	79
4.2 Αποτελέσματα Εργαλείου OSeMOSYS	82
4.2.1 Σενάριο 1 ^ο μέσω δεδομένων LEAP	82
Εκπομπές CO ₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής.....	82
Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία και έτος παύσης	83
Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία και έτος παύσης	86
4.2.2 Σενάριο 2 ^ο μέσω δεδομένων ΕΣΕΚ.....	89
Εκπομπές CO ₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής.....	89
Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία και έτος παύσης	90
Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία και έτος παύσης	93
Συνολική Ηλεκτροπαραγωγή.....	96
Εγκατεστημένη Ισχύς από ΑΠΕ	96
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	97
Βιβλιογραφία	100

Κατάλογος Συντμήσεων

- ΑΕΠ - Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
- ΑΠΑ - Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία
- ΑΠΕ -Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- ΕΕ - Ευρωπαϊκή Ένωση
- ΕΛΣΑΤ - Ελληνική Στατιστική Αρχή
- ΕΣΕΚ - Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
- ΜΔΜ - Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης
- ΟΗΕ - Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
- ΤΑΑ - Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας
- ΤΠΠ - Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου
- CO₂ - Carbon Dioxide
- GHG - Greenhouse Gases
- IEA - International Energy Agency
- LEAP - Low Emissions Analysis Platform
- LULUCF - Land Use, Land-use Change and Forestry
- NDC - Nationally Determined Contributions
- OSeMOSYS - Open Source energy MOdelling SYStem
- RES - Reference Energy System
- RFNBOs - Renewable Fuels of Non-Biological Origin
- SAF - Sustainable Aviation Fuel
- SEI - Stockholm Environment Institute
- Toe - Tonnes of Oil Equivalent
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change OSeMOSYS
- WWF - World Wild Fund for Nature

Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 1 Νέφος στην Αθήνα	15
Σχήμα 2 Η δομή των υπολογισμών του LEAP	35
Σχήμα 3 Τομείς Ενεργειακής Ζήτησης	38
Σχήμα 4 Μοντελοποιούμενα Καύσιμα στα Νοικοκυριά	49
Σχήμα 5 Χρησιμοποιούμενο Reference Energy System (RES)	56
Σχήμα 6 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Αγροτικό Τομέα	66
Σχήμα 7 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Βιομηχανικό Τομέα	67
Σχήμα 8 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Τριτογενή Τομέα	67
Σχήμα 9 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στις Μεταφορές	68
Σχήμα 10 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Ιδιωτικά Οχήματα	69
Σχήμα 11 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Νοικοκυριά	69
Σχήμα 12 Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας	70
Σχήμα 13 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Αγροτικό Τομέα	71
Σχήμα 14 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Βιομηχανικό Τομέα	72
Σχήμα 15 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Τριτογενή Τομέα	73
Σχήμα 16 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στις Μεταφορές	74
Σχήμα 17 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στα Νοικοκυριά	75
Σχήμα 18 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας	76
Σχήμα 19 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα για το Σενάριο 1	77
Σχήμα 20 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα για το Σενάριο 2	77
Σχήμα 21 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο για το Σενάριο 1	78
Σχήμα 22 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο για το Σενάριο 2	78
Σχήμα 23 Αισιόδοξη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων	79
Σχήμα 24 Ισορροπημένη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων	80
Σχήμα 25 Απαισιόδοξη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων	80
Σχήμα 26 Εκπομπές CO ₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής ανά Σενάριο	82
Σχήμα 27 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035	83
Σχήμα 28 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033	83
Σχήμα 29 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031	84
Σχήμα 30 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*	84
Σχήμα 31 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*	85
Σχήμα 32 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035	86
Σχήμα 33 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033	86
Σχήμα 34 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031	87
Σχήμα 35 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*	87
Σχήμα 36 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*	88
Σχήμα 37 Εκπομπές CO ₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής ανά Σενάριο	89
Σχήμα 38 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035	90
Σχήμα 39 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033	90
Σχήμα 40 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031	91
Σχήμα 41 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*	91
Σχήμα 42 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*	92
Σχήμα 43 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035	93
Σχήμα 44 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033	93
Σχήμα 45 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031	94
Σχήμα 46 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*	94
Σχήμα 47 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*	95

Πίνακας 1 Σύνοψη Στόχων ΕΣΕΚ.....	29
Πίνακας 2 Κύριοι Στόχοι Αναθεωρημένου ΕΣΕΚ	32
Πίνακας 3 Εκατ. τιπ υγρών καυσίμων στον αγροτικό τομέα	41
Πίνακας 4 Εκατ. τιπ υγρών καυσίμων στη βιομηχανία	42
Πίνακας 5 Εκατ. Τιπ υγρών καυσίμων στον τριτογενή τομέα	43
Πίνακας 6 Επιβατο-χλμ. αυτοκινήτων με ηλεκτρική κίνηση ως % του συνόλου	44
Πίνακας 7 Τονο-χλμ. μεταφορικών μέσων με ηλεκτρισμό ή υδρογόνο ως % του συνόλου.....	47
Πίνακας 8 Αριθμός Νοικοκυριών.....	48
Πίνακας 9 Εκατ. Τιπ υγρών καυσίμων στον στα νοικοκυριά.....	50
Πίνακας 10 Ζήτηση 1 ^{ου} Σεναρίου (ενδεικτικά ανά 5 έτη) σε PJ	64
Πίνακας 11 Ζήτηση 2 ^{ου} Σεναρίου (ενδεικτικά ανά 5 έτη) σε PJ	65
Πίνακας 12 Σύγκριση Ηλεκτροπαραγωγής μεταξύ έγγραφου ΕΣΕΚ και Σεναρίου ΕΣΕΚ	96
Πίνακας 13 Σύγκριση ισχύος από ΑΠΕ μεταξύ έγγραφου ΕΣΕΚ και Σεναρίου ΕΣΕΚ	96

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Κλιματική Αλλαγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή την οποία επιφέρει είναι κύρια μάστιγα της εποχής μας. Σε βάθος χρόνου αποτελεί κύρια απειλή για τη ζωή στον πλανήτη και φυσικά για τον άνθρωπο. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να διαχωριστεί σε φυσική και ανθρωπογενή.

Αφενός, φυσικά αίτια της κλιματικής αλλαγής μεταξύ άλλων είναι οι αλλαγές στην τροχιά της γης, οι μετακινήσεις των τεκτονικών πλακών της γης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, η διακύμανση της ηλιακής δραστηριότητας και η ακανόνιστη περιοδική διακύμανση των ανέμων και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στον τροπικό ανατολικό Ειρηνικό Ωκεανό. (Climate Science Investigations South Florida, 2023)

Αφετέρου, ανθρωπογενή αίτια είναι τα εξής σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή: (European Commission, 2024)

- Η χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως είναι ο άνθρακας το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα CO₂ και υποξείδιο του αζώτου.
- Η ανεξέλεγκτη υλοτόμηση των δασών είναι ένα κρίσιμο ζήτημα καθώς τα δέντρα απορροφούν CO₂ από το περιβάλλον. Όταν μειώνεται ο αριθμός τους η ευεργετική συνεισφορά τους στη μείωση των εκπομπών χάνεται.
- Η μεγέθυνση του τομέα της κτηνοτροφίας οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου, καθώς οι αγελάδες και τα πρόβατα απελευθερώνουν αυτό το αέριο κατά την πέψη τους. Το μεθάνιο είναι περισσότερο από 28 φορές πιο επιδραστικό από το CO₂ στην παγίδευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα. (US EPA, 2016)
- Τα αζωτούχα λιπάσματα επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με εκπομπές υποξειδίου του αζώτου το οποίο είναι 300 φορές πιο επιδραστικό από το CO₂ όσον αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας (Conversation, 2020)
- Τα φθοριούχα αέρια που χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης ή κλιματισμού παρουσιάζουν εκπομπές που αυξάνουν την θερμοκρασία του πλανήτη έως και 23.000 φορές περισσότερο σε σχέση με το CO₂.



Σχήμα 1 Νέφος στην Αθήνα

Τα πλεονάζοντα αέρια που παράγονται δημιουργούν το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της γης να αυξάνεται με πρωτοφανείς ρυθμούς. Κάποια αέρια στην ατμόσφαιρα της γης συγκρατούν τη θερμότητα του ήλιου και την εμποδίζουν να διαφύγει στο διάστημα κρατώντας τη θερμοκρασία της γης σταθερή. Όταν όμως η ανθρώπινη δραστηριότητα τα ενισχύει δημιουργείται αυτό το πρόβλημα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με την προ-βιομηχανική εκπομπή έχει ήδη φτάσει τους 1.1°C (European Commission, 2024). Μια μεγαλύτερη αύξηση (π.χ. 2°C) προβλέπεται να επιφέρει τεράστιες αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον. Δύναται να εκτυλιχθούν πολύ επικίνδυνα φαινόμενα, βλαβερά για την υγεία και την ύπαρξη του ανθρώπου. Τέτοια είναι οι καύσωνες διαρκείας, οι εκτεταμένες δασικές πυρκαγιές, οι ανεξέλεγκτες πλημμύρες και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας που μπορεί να βλάψει ιδιαίτερα τις παράκτιες κατοικήσιμες και αξιοποιήσιμες από ανθρώπους περιοχές. Μια τέτοια περιοχή είναι το κράτος Τουβαλού ευρισκόμενο στον Ειρηνικό Ωκεανό αποτελούμενο από 9 βραχονησίδες. Ενώ ήδη έχει αρχίσει να ανεβαίνει απειλητικά η στάθμη της θάλασσας γύρω του νησιωτικού συμπλέγματος, προβλέπεται τις επόμενες δεκαετίες να επιδεινωθούν ακόμα περισσότερο οι όροι ζωής με το 2100 να αποτελεί ημερομηνία που πιθανώς θα καταστεί πλήρως μη κατοικήσιμο εάν δεν αλλάξει ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (UNDP, 2023). Επιπλέον, από την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, παρουσιάζονται απειλές για την παραγωγή τροφίμων και την παροχή νερού και γενικότερα για την πανίδα και την χλωρίδα σε ολόκληρη τη γη. Φυσικά τέτοια φαινόμενα δημιουργούν και οικονομικό πρόβλημα

τόσο στις χώρες όσο και στους πολίτες τους. Για όλους αυτούς τους λόγους η διεθνής κοινότητα συστήνει και επιμένει στον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας έως τους 1.5°C, σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτός ο στόχος τέθηκε στη συμφωνία του Παρισιού στις 12 Δεκεμβρίου του 2015 στη Διάσκεψη του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations, 2020). Αυτή η συμφωνία επικυρώθηκε από όλες τις χώρες της ΕΕ.

Ένας από τους κυριότερους τρόπους επίτευξης του στόχου της συμφωνίας είναι η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που έχουν μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα. Επίσης, επιτακτική έχει γίνει η χρήση κανόνων που υποχρεώνουν μία πληθώρα ρυπογόνων δραστηριοτήτων να περιορίζονται μέσω οικονομικών ποινών και κινήτρων όπως και με θέσπιση ανώτατων ορίων εκπομπών. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη μείωση της ανόδου της θερμοκρασίας παίζει η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω αποδοτικότερων ενεργειακά τεχνολογιών και μέσω της μείωσης της σπατάλης ενέργειας από τους χρήστες. Οι κύριοι τομείς που εμπλέκονται σε αυτό το ρόλο είναι οι μεταφορές, τα κτίρια και η βιομηχανία.

1.2 Έκλειψη πετρελαίου και φυσικού αερίου μελλοντικά

Για το 2022 σύμφωνα με το (EIA, 2024) οι πετρελαιοπηγές σε όλο τον πλανήτη άντλησαν σχεδόν 100 εκατομμύρια βαρέλια από τη Γη, με την κατανάλωση να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι μη ανανεώσιμοι πόροι. Όπως και τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, σχηματίστηκαν πριν από εκατομμύρια χρόνια, από την αργή αποσύνθεση των φυτών και άλλων οργανικών υλικών λόγω της θερμότητας, της πίεσης και της κίνησης των στρωμάτων της γης. Θα χρειαστούν εκατομμύρια χρόνια ακόμη για να δημιουργηθούν νέα αποθέματα.

Οι εταιρείες που εξορύσσουν ορυκτά καύσιμα ανακαλύπτουν πρώτα τα μεγάλα, εύκολα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα και μετά μετακινούνται σε μικρότερα, βαθύτερα κοιτάσματα όταν τα μεγάλα φθίνουν.

Κάθε πετρελαιοπηγή ακολουθεί έναν κύκλο ζωής με την παραγωγή της να αυξάνεται αρχικά, να σταθεροποιείται στη συνέχεια και τέλος να στερεύει.

Είναι γεγονός ότι η ακριβής ημερομηνία εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων παραμένει άγνωστη. Αυτό συμβαίνει διότι συνεχίζουμε να ανακαλύπτουμε νέα αποθέματα, ωστόσο, ο ρυθμός εύρεσης και ο αριθμός των νέων αποθεμάτων είναι μικρός. Καθίσταται σαφές ότι δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του πληθυσμού της γης σε βάθος χρόνου. Αρκετές προβλέψεις έκλειψής των ορυκτών καυσίμων κυμαίνονται μεταξύ 50 και 100 ετών.

Επομένως πέραν της κλιματικής αλλαγής η ταχύτατη μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων είναι άλλος ένας λόγος για την στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

1.3 Εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία

Η κορύφωση της ρωσο-ουκρανικής διαμάχης από το 2014 συνέβη στις 24 Φεβρουαρίου 2022 με την προέλαση του ρωσικού στρατού εντός του ουκρανικού εδάφους. Τα αποτελέσματα αυτού του πολέμου μεταξύ άλλων είναι ο θάνατος ή ο τραυματισμός κοντά στο μισό εκατομμύριο ανθρώπων μέχρι στιγμής (Cooper κ.ά., 2023), ο εξαναγκασμός σε μετανάστευση τεραστίων διαστάσεων και οι σοβαρές οικονομικές δυσχέρειες τόσο στην Ευρώπη όσο και στην ίδια τη Ρωσία. Με το πρόβλημα να είναι ακόμα πιο έντονο στην Ουκρανία, της οποίας το ΑΕΠ συρρικνώθηκε κατά 29.1% το 2022 (wikipedia.org, 2024). Από τον πόλεμο επηρεάζονται τόσο οι αγορές ενέργειας όσο και οι αγορές τροφίμων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επιδείνωση της επισιτιστικής κρίσης, καθώς η Ουκρανία αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους εξαγωγείς σιτηρών παγκοσμίως. Για παράδειγμα πριν τον πόλεμο ήταν ο 1^{ος} εξαγωγέας ηλιέλαιου στον κόσμο (Council of Europe, 2023a). Να σημειωθεί επίσης ότι πριν τον πόλεμο η προμήθεια αγροτικών προϊόντων από την Ουκρανία κατευθυνόταν κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες, με επίκεντρο την Ασία και την Αφρική.

Όσον αφορά την κρίση στις τιμές της ενέργειας παρατηρείται αστάθεια από τα μέσα του 2021. Μερικοί λόγοι οφείλονται στην πανδημία, καθώς κατά τη διάρκεια της υπήρξαν σημαντικές καθυστερήσεις συντήρησης υποδομών (π.χ. αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου) ενώ με τη λήξη της, υπήρξε ταχύτατη οικονομική ανάπτυξη που δεν μπόρεσε να ικανοποιηθεί από την αγορά ενέργειας. Άλλοι λόγοι για το 2021 είναι οι

καιρικές συνθήκες σε διάφορα μέρη του κόσμου, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, που επηρέασαν την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας (IEA, 2022). Μετά το ξέσπασμα του πολέμου, η κατάσταση επιδεινώθηκε. Η Ρωσία, ως η δεύτερη σε ποσότητα εξαγωγής πετρελαίου χώρα και η πρώτη σε εξαγωγή φυσικού αερίου, αποφασίζοντας να αναστείλει τις παραδόσεις αερίου σε ορισμένες χώρες της ΕΕ σε συνδυασμό με τις κυρώσεις της Δύσης, τροφοδότησε τη σοβαρότερη κρίση ενέργειας μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Οι ρωσικές ροές φυσικού αερίου προς την ΕΕ έχουν μειωθεί δραστικά και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τόσο την κατάρρευση των εσόδων της ίδιας της Ρωσίας όσο και την ανάγκη ενεργειακής εξασφάλισης της ΕΕ από άλλες πηγές.

1.4 Πώς αντιμετωπίζει αυτές τις προκλήσεις η Ευρώπη

Ήδη από το 2016 η ευρωπαϊκή επιτροπή πρότεινε μέτρα υπό την ονομασία ‘Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους’ (‘Clean Energy for All Europeans’) προς την επίτευξη της ενεργειακής ασφάλειας και βιωσιμότητας τόσο της οικονομίας όσο της υγείας εν μέσω της κλιματικής αλλαγής. Μέχρι τα μέσα του 2019 τα μέτρα είχαν γίνει αποδεχτά ως νόμοι και τέθηκαν στόχοι για το 2030 για 32,5% μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση με ταυτόχρονη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση και 32% ποσοστό παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. (Council of Europe, 2023b)

Στη συνέχεια στα μέσα του 2021 η ευρωπαϊκή επιτροπή πρότεινε τη δέσμη Fit for 55 που είναι μια σειρά από μέτρα προκειμένου να περιοριστούν οι εκπομπές κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Επίσης, η Ευρώπη επιδιώκει να καταστεί η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 (European Commission, 2022a).

Αυτό μπορεί να συμβεί με τη μείωση των εκπομπών δραστικά και με την αύξηση των απορροφήσεων ρυπογόνων αερίων προκειμένου να φτάσουμε σε ένα ουδέτερο ισοζύγιο εκπομπών. Παράλληλα, καίριας σημασίας είναι και η προετοιμασία όλων των χωρών της Ευρώπης για την αντιμετώπιση των κλιματικών επιπτώσεων μελλοντικά.

Κάποια από τα οφέλη της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής για τις κοινωνίες των χωρών που την υιοθετούν είναι:

- Καινούργιες θέσεις εργασίας μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος

- Μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα της οικονομίας
- Ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης και του ΑΕΠ
- Μειωμένη μόλυνση του αέρα
- Νέες αποδοτικότερες ενεργειακά τεχνολογίες και προϊόντα
- Ασφαλέστερος εφοδιασμός ενέργειας και μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τρίτες χώρες

Όσον αφορά τις συνέπειες του πολέμου, κάποιες από τις δράσεις της ΕΕ είναι :

(Council of Europe, 2024)

- Η μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων της Ρωσίας. Ήδη από το Μάρτιο του 2022 η ΕΕ αποφάσισε τη σταδιακή απεξάρτηση της από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα. Στα τέλη Μαΐου του 2022 συμφωνήθηκε ο περιορισμός της εισαγωγής πετρελαίου από τη Ρωσία κατά 90%. Ακόμα έχει συζητηθεί και προκριθεί να υπάρξει διαφοροποίηση των πηγών και των δρόμων ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρώπης όπως και η γρήγορη ανάπτυξη των ΑΠΕ.
- Η επιτυχής εξασφάλιση των χωρών της ΕΕ σχετικά με τον εφοδιασμό αερίου. Τον Νοέμβριο του 2022 αποφασίστηκε από την ΕΕ πρόβλεψη για αλληλεγγύη εφοδιασμού φυσικού αερίου μεταξύ των χωρών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ακόμα λήφθηκαν μέτρα για τον περιορισμό της αστάθειας των τιμών τόσο του φυσικού αερίου όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, υιοθετήθηκε αποδοτικότερη παρακολούθηση των τιμών του αερίου. Σε διαφορετικές ημερομηνίες τονίστηκε και προκρίθηκε η μείωση της ζήτησης φυσικού αερίου από τις χώρες εθελοντικά κατά 15% με τελευταία ημερομηνία έως και το Μάρτιο του 2024. (Council of Europe, 2023c)
- Η μείωση των λογαριασμών που αφορούν την χρήση ενέργειας. Η ΕΕ τονίζει για όλες τις χώρες την ανάγκη μείωσης της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και τον περιορισμό των υπερκερδών των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας και επιχειρήσεων ορυκτών καυσίμων είτε μέσω πλαφόν κέρδους είτε μέσω φορολόγησης ή μέσω εισφοράς αλληλεγγύης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην προστασία των πολιτών και επιχειρήσεων που αντιμετωπίζουν υψηλότερους λογαριασμούς για την κατανάλωση ενέργειας.
- Η καταπολέμηση των υπέρογκων τιμών της ενέργειας.

Η ΕΕ εισάγει τη δημιουργία μηχανισμού διόρθωσης της αγοράς για την προστασία των πολιτών και της οικονομίας από υπερβολικά υψηλές τιμές φυσικού αερίου που δεν αντικατοπτρίζουν τις παγκόσμιες τιμές. Επιπλέον η ΕΕ θέτει ανώτατο όριο τιμής για το ρωσικό πετρέλαιο και αέριο προκειμένου να περιοριστεί η απότομη αύξηση των τιμών και να περιοριστούν τα έσοδα της Ρωσίας. Με αυτόν τον τρόπο θα μετριαστεί και ο αντίκτυπος της κρίσης στον ενεργειακό εφοδιασμό τρίτων χωρών.

- Ο ρόλος του κάθε πολίτη.

Η ΕΕ τονίζει και το ρόλο που μπορεί να παίξει ο κάθε άνθρωπος μεμονωμένα στην αντιμετώπιση κρίσεων ενέργειας ή κλιματικών αλλαγών. Αυτός αφορά τις μεμονωμένες αποφάσεις για την ορθή και λελογισμένη κατανάλωση ενέργειας.

1.5 Ο ρόλος και οι κινήσεις της Ελλάδος

Η πράσινη ενεργειακή μετάβαση που επιθυμεί η χώρα αποτυπώνεται λεπτομερώς στο αναθεωρημένο ΕΣΕΚ και αφορά την τάχιστα απομάκρυνση από τα ορυκτά καύσιμα προς χρήση άλλων, μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος. Πέρα των προφανών ευεργετικών αποτελεσμάτων που έχει για την υγεία των ανθρώπων και την ζωή στον πλανήτη, αποτελεί και μία μεγάλη προσοδοφόρα ευκαιρία σε πολλούς τομείς για τη χώρα.

Τα κύρια ενεργειακά καύσιμα που καταναλώνονται στην Ελλάδα είναι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Και τα δύο εισάγονται σε μια περίοδο διεθνών αναταράξεων και κρίσης αύξησης των τιμών, με τον πόλεμο να μη δείχνει σημάδια τελειωμού. Η στροφή σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας(ΑΠΕ) που παράγονται εντός της χώρας της προσδίδει ιδιαίτερα στρατηγικά οφέλη και ενεργειακή αυτάρκεια μελλοντικά. Όσο μειωθεί η ενεργειακή εξάρτηση της χώρας από εισαγωγές τόσο μεγαλύτερο οικονομικό όφελος θα έχει.

Ήδη η χώρα έχει κάνει άλματα στους τομείς των ΑΠΕ και στη μείωση χρήσης των ορυκτών καυσίμων όπως είναι ο λιγνίτης αλλά δεν πρέπει να υπάρξει εφησυχασμός. Το ΕΣΕΚ θέτει ως κύρια στρατηγική την πλήρη απολιγνιτοποίηση της χώρας έως το 2028 την στιγμή που, συγκριτικά με άλλες χώρες, έχει αφθονία πηγών ηλιακής και αιολικής ενέργειας όπως και υδροηλεκτρικό δυναμικό.

Κρίνεται επιθυμητό να υπάρχει μεγάλο εύρος τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας και περισσότερο αποκεντρωμένων. Ήδη υπάρχουν προγράμματα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στις στέγες των σπιτιών με τους ρυθμούς τέτοιας υιοθέτησης να χρειάζεται να αυξηθούν εκ νέου ύστερα από το πάγωμα που υπέστησαν από το 2013 και μετά. Έτσι κι ο κάθε πολίτης θα μπορεί να παράγει τη δική του ενέργεια, να τη χρησιμοποιεί και αποθηκεύει (πχ σε μπαταρίες ακόμα και ηλεκτρικών αυτοκινήτων), όπως και να πουλά ενέργεια σε παρόχους.

Ακόμα η Ελλάδα θα μπορέσει να καταστεί εξαγωγέας ηλεκτρικής ενέργειας μελλοντικά λαμβάνοντας τα οφέλη μιας τέτοιας εξέλιξης που είναι τόσο οικονομικά όσο και γεωστρατηγικά.

Όσον αφορά ένα κύριο καύσιμο, τον λιγνίτη, ο οποίος δεν εισάγεται αλλά παράγεται εντός της χώρας, κρίνεται μη βιώσιμος καθώς οι μεγάλες ποσότητες εκπομπών που παράγονται από την καύση του τον καθιστούν οικονομικά μη προσοδοφόρο. Αυτό συμβαίνει διότι σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία οι εγχώριες επιχειρήσεις καλούνται να πληρώσουν επιπλέον χρήματα για χρήση ρυπογόνων καυσίμων μέσω της αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών. Αυτά τα χρήματα κατευθύνονται κυρίως σε εθνικούς λογαριασμούς για την ενίσχυση των εγχώριων ΑΠΕ και των τεχνολογιών μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος. (European Commission, 2023a)

Είναι επιτακτικό όλη η κοινωνία να ενημερωθεί για τα σπουδαία οφέλη που θα φέρει η πράσινη ενεργειακή μετάβαση σε όλους τους κοινωνικό-οικονομικούς τομείς, μέσα από την αντικατάστασή της χρήσης ορυκτών καυσίμων με χρήση ΑΠΕ και με την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτή η μετάβαση δεν είναι μόνο μια προσπάθεια για την βελτίωση του μέλλοντος της ζωής στον πλανήτη. Είναι μια διαδικασία που θα αποφέρει κοινωνική δικαιοσύνη και μεγαλύτερη ισότητα μεταξύ των μελών της κοινωνίας καθώς θα επιβαρύνονται λιγότερο οικονομικά και έτσι θα απολαμβάνουν βασικές υπηρεσίες(π.χ. θέρμανση, ψύξη) που δεν μπορούσαν μέχρι στιγμής στον επιθυμητό βαθμό. Φυσικά υπάρχει το κόστος επένδυσης σε τέτοιες καινούργιες τεχνολογίες που θα καλυφθούν από επιδοτήσεις κ.α. από την πολιτεία για να μην στερηθεί κανείς τις ευεργετικές ιδιότητες αυτής της νέας εποχής. Η ΕΕ έχει ήδη δημιουργήσει το εργαλείο γνωστό και ως Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης (ΜΔΜ) που θα βοηθήσει στην άμβλυνση των δυσκολιών της ενεργειακής μετάβασης για την κοινωνία και την οικονομία, στοχεύοντας 55 δισ. ευρώ στις περιφέρειες της Ευρώπης που το έχουν περισσότερο ανάγκη. (Timmermans, 2022)

Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση του Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος και της δέσμης Fit for 55

2.1 Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος(ΕΣΕΚ)

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αποτελεί τον κύριο μοχλό και πρότυπο για την ενεργειακή μετάβαση της χώρας. Ουσιαστικά το ΕΣΕΚ αποτυπώνει 3 κύρια σημεία. Αυτά είναι:

- 1) Με ποιους γενικούς χειρισμούς θα επιτευχθεί μια πραγματικότητα ανθρακικά ουδέτερη έως το 2050.
- 2) Ποιες συγκεκριμένες δράσεις θα αξιοποιηθούν για αυτόν τον σκοπό.
- 3) Δίνει ένα σενάριο αναφοράς με αριθμούς για να αποδοθούν οι κύριες ροπές και η έκταση της μετάβασης.

Ήδη από το 2019 το ΕΣΕΚ εκείνου του έτους έθετε κλιματικούς στόχους για το 2030 όπως τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά ποσοστό τουλάχιστον 42% σε σχέση με το 1990 και 16,1 με 16.5 Mtoe τελική κατανάλωση ενέργειας. Κάποιες από τις παγκόσμιες συνθήκες που οδήγησαν στην αναθεώρηση του για το 2023 περιγράφονται παρακάτω:

Το 2018 η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) αποφάνθηκε ότι η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με την προ-βιομηχανική εποχή είναι πιθανό να φέρει τεράστιες δυσμενείς αλλαγές τόσο στην χλωρίδα όσο και στην πανίδα της γης.

Επίσης, η πανδημία που επέφερε αναταράξεις στις τιμές της ενέργειας οδήγησε και στη δημιουργία του Ταμείου Ανάκαμψης και Σταθερότητας (ΤΑΑ) από την Ευρωπαϊκή Ένωση, με δυνατότητα αξιοποίησης νέων πόρων για την ενεργειακή μετάβαση.

Στην Ελλάδα η κλιματική κρίση έχει ήδη χτυπήσει την πόρτα της. Τον Ιούλιο του 2023 ο καύσωνας ήταν ο μεγαλύτερος στην ιστορία της. Επίσης υπήρξαν εκτεταμένες πυρκαγιές και πλημμύρες. Ειδική αναφορά κάνουμε στις πλημμύρες της Θεσσαλίας τον Σεπτέμβριο του 2023 που οδήγησαν σύμφωνα με (UNICEF, 2023) σε ανυπολόγιστες καταστροφές σε σπίτια, επιχειρήσεις, υποδομές εκπαίδευσης και υγείας όπως και στην κτηνοτροφική και γεωργική παραγωγή της περιφέρειας. Ο ανθρώπινος

πόνος ήταν και είναι επίσης τεράστιος. Σε αυτό το πλαίσιο πρέπει να παρθούν μέτρα για την ελάττωση της ανθρώπινης συνεισφοράς σε αυτήν την επιδείνωση του κλίματος.

Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία το 2022 αύξησε ιδιαίτερα τις τιμές των καυσίμων και ειδικά του φυσικού αερίου. Η ενεργειακή κρίση ήταν αναπόφευκτη. Πάνω σε αυτήν την αλλαγή το ΕΣΕΚ τονίζει πέντε κύριες τάσεις στις οποίες στηρίχτηκε:

- 1) Η πράσινη μετάβαση έγινε επιτακτική άμεσα καθώς οι τιμές των καυσίμων εκτοξεύτηκαν. Το κόστος για εισαγωγές φυσικού αερίου αυξήθηκε τόσο στην Ελλάδα όσο και σε ολόκληρη την Ευρώπη σε σχέση με τα προ κρίσης χρόνια. (Eurostat, 2023a) Έτσι, οι επενδύσεις σε εναλλακτικά καύσιμα και πράσινες τεχνολογίες αποτελούν πλέον οικονομικότερες επιλογές.
- 2) Η ζήτηση φυσικού αερίου σε ολόκληρη τη χώρα περιορίστηκε σημαντικά λόγω της ενεργειακής κρίσης. Μικρότερη μείωση υπήρξε και στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- 3) Άλλαξαν οι συσχετισμοί στη μεταφορά ενέργειας στη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα εισήγαγε περισσότερο υγροποιημένο φυσικό αέριο και έκανε εξαγωγές αερίου σε άλλες χώρες. Αυτή τη στιγμή δίνεται η δυνατότητα στην Ελλάδα να επιτύχει την καθιέρωσή της ως ενεργειακός κόμβος της περιοχής.
- 4) Η Ευρωπαϊκή Ένωση άλλαξε πρόσφατα την ενεργειακή στρατηγική της με κύριο στόχο την αποφυγή της χρήσης του ρωσικού φυσικού αερίου και την ταχύτερη ενεργειακή της μετάβαση.

Η αύξηση των τιμών επιτάσσει τη χάραξη πολιτικών για μείωση των τιμών ενέργειας, για προστασία των ευάλωτων νοικοκυριών και γενικότερη μείωση του κόστους ενέργειας σε όλους τους τομείς.

2.1.1 Εθνική Στρατηγική

Η εθνική στρατηγική για την ενέργεια και το κλίμα αναφέρεται ως αποτέλεσμα των εξής σημείων:

- 1) Η διεθνής σκηνή καθορίζει τα μονοπάτια που μπορεί να ακολουθήσει η χώρα. Το κόστος των ΑΠΕ βαίνει μειούμενο. Το εξαιρετικό ηλιακό και αιολικό δυναμικό της χώρας χρησιμοποιείται και μπορεί να αυξηθεί η χρήση του άμεσα χωρίς ιδιαίτερες

δυσκολίες. Το ίδιο ισχύει για την πλέον περισσότερο ωριμασμένη τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης.

Πάραυτα, τεχνολογίες όπως το υδρογόνο, οι μπαταρίες και τα συνθετικά καύσιμα είναι μη ωριμασμένες τεχνολογίες και η κρατική οικονομική ενίσχυση που χρειάζονται είναι αυξημένη. Η Ελλάδα μη κατέχοντας απεριόριστους οικονομικούς πόρους, δεν μπορεί να ακολουθήσει με την ίδια ταχύτητα όλες τις τεχνολογίες.

- 2) Η χώρα μας έχει ήδη κάνει μεγάλη πρόοδο στις ΑΠΕ που συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με ποσοστό για το 2023 47.9%. (euro2day.gr, 2024) Η χώρα το 2022 ήταν στις πρώτες χώρες στον κόσμο από άποψη διείσδυσης αιολικής και ηλιακής τεχνολογίας στην ηλεκτροπαραγωγή. Επίσης είχαμε μείωση παραγωγής από λιγνίτη κατά 80%.
- 3) Οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι της χώρας για την ενεργειακή μετάβαση είναι συγκεκριμένοι. Όπως αναφέρθηκε πρέπει να εξεταστεί η ύπαρξη τεχνολογιών που απαιτούν μεγάλη κρατική ενίσχυση.

2.1.2 Άξονες Πολιτικής στην Ηλεκτροπαραγωγή

Το ΕΣΕΚ θέτει ως κύριο στόχο τη μείωση των εκπομπών από την ηλεκτροπαραγωγή μιας και αποτελεί την κυριότερη πηγή τους. Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ οι κύριοι άξονες πολιτικής γύρω από την ηλεκτροπαραγωγή είναι οι εξής:

- Απολιγνιτοποίηση μέχρι το 2028.
- Σύνδεση των μη διασυνδεδεμένων νησιών στο διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030.
- Χρήση των ΑΠΕ με κάλυψη ως 80% της ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2030 με χρήση περίπου 50% ηλιακής και 50% αιολικής ενέργειας.
- Ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων με πλάνο την εκκίνηση λειτουργίας τέτοιων έργων ως το 2030.
- Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας που να μπορούν να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση ενέργεια μέσω κατάλληλης ισχύος και χωρητικότητας.
- Λειτουργία των συστημάτων ενέργειας προς τον ασφαλή εφοδιασμό της και το κέρδος τόσο των τελικών χρηστών όσο και της οικονομίας.
- Συμμετοχή των καταναλωτών στην αγορά ενέργειας.

- Επιτάχυνση του εξηλεκτρισμού στην τελική κατανάλωση και ενίσχυση των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μικρές ΑΠΕ για ιδιοκατανάλωση.
- Αξιοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για την ανάπτυξη ανανεώσιμων καυσίμων
- Νέες διασυνδέσεις ενεργειακού εφοδιασμού με άλλες χώρες, με σημαντικό στόχο την εξαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δημιουργία αυτοματοποιημένων κέντρων ελέγχου του δικτύου.

2.1.3 Εξισορρόπηση του Δικτύου

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η εξισορρόπηση του δικτύου, δηλαδή η εξασφάλιση ότι οι διακυμάνσεις στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή στη ζήτηση εξισορροπούνται πλήρως ανά πάσα στιγμή, θα γίνει με μία μίξη των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας όπως είναι οι μπαταρίες και η αντλησιοταμίευση, με κατανεμόμενες ΑΠΕ όπως είναι τα υδροηλεκτρικά, με μονάδες φυσικού αερίου και μονάδες παραγωγής ανανεώσιμων αερίων και με διασυνδέσεις εντός και εκτός της χώρας.

2.1.4 Εξοικονόμηση Ενέργειας

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η άνθηση της οικονομίας τα επόμενα χρόνια θα φέρει αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η ενεργειακή πολιτική που προτείνει το ΕΣΕΚ θα προσπαθήσει να έρθει ως αντίβαρο στην αύξηση της κατανάλωσης με εξοικονόμηση ενέργειας και απανθρακοποίηση.

Στα νοικοκυριά και στα κτίρια γενικότερα ο στόχος που θέτει το ΕΣΕΚ πέραν της εξοικονόμησης ενέργειας είναι και η αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας. Στην ενεργειακή ένδεια αναφέρεται το ΕΣΕΚ επανειλημμένα και παρουσιάζει κάποια μέτρα που χρειάζονται για την καταπολέμηση της μελλοντικά μέσω χρηματοδοτήσεων.

Στις μεταφορές ο κύριος στόχος του ΕΣΕΚ είναι να αυξηθεί η διείσδυση των ΑΠΕ σε αυτές μιας και βρισκόμαστε στην τελευταία θέση σε αυτόν τον τομέα για την ΕΕ.

Επίσης, ένας από τους τρόπους που θα επιτευχθεί περαιτέρω εξηλεκτρισμός των μεταφορών είναι φυσικά τα οικονομικά κίνητρα σε ιδιώτες και εταιρείες.

Αναφέρεται και η βιομηχανία ως σημαντικός τομέας εκπομπών και εξετάζονται μέτρα για την απανθρακοποίηση της όσο είναι δυνατό.

2.2 Στόχοι Ευρωπαϊκής Ένωσης – Fit for 55

Το ΕΣΕΚ αναφέρεται και στους στόχους της ΕΕ για το κλίμα. Αυτοί οι στόχοι βασίζονται στο σχέδιο Fit for 55, δηλαδή στο σχέδιο της ΕΕ για μείωση των εκπομπών κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (Council of Europe, 2023d).

Η δέσμη «Προσαρμογή στον στόχο του 55 %» (Fit for 55) είναι ένα πακέτο προτάσεων με στόχο την επικαιροποίηση της νομοθεσίας της ΕΕ προκειμένου μελλοντικές πολιτικές της να αφουγκράζονται τους κλιματικούς στόχους που έχουν κατοχυρωθεί από το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το ευρωπαϊκό συμβούλιο. Συνεπώς, αποσκοπεί στη δημιουργία ενός οδικού χάρτη για την ΕΕ προκειμένου οι κλιματικοί της στόχοι να ευοδωθούν με κύριους γνώμονες την δίκαιη κοινωνικά ενεργειακή μετάβαση, την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και την κατοχύρωση της ΕΕ ως πρότυπο για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως. Για να το πετύχει αυτό, η δέσμη Fit for 55 περιλαμβάνει μία σειρά από προτάσεις:

- **Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ:** Ουσιαστικά είναι η κυριότερη μέθοδος της ΕΕ για μείωση των εκπομπών. Επιβάλλει ανώτατα όρια εκπομπών στη βιομηχανία και τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η επικαιροποίηση του μεταξύ άλλων περιλαμβάνει τον έλεγχο εκπομπών και στις θαλάσσιες μεταφορές, επιπλέον μέτρα για μείωση των εκπομπών στις αεροπορικές μεταφορές και αύξηση της χρηματοδότησης από κάποια ευρωπαϊκά ταμεία.
- **Κοινωνικό Ταμείο για το Κλίμα:** Αποσκοπεί στην άμβλυση των κοινωνικών επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει η ενεργειακή μετάβαση στα κτίρια και τις οδικές μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα θα κατευθύνονται οικονομικοί πόροι σε νοικοκυριά, μικρές επιχειρήσεις και χρήστες μεταφορών που το έχουν ανάγκη.
- **Μηχανισμός Συνοριακής Προσαρμογής Άνθρακα:** Η λειτουργία του έχει ως σκοπό να σταματήσει το πρόβλημα της παραγωγής ενέργειας με άνθρακα εκτός ΕΕ,

σε χώρες που δεν έχουν την ίδια ένταση ελέγχου των εκπομπών όπως η ΕΕ. Επίσης αυτός ο μηχανισμός προσπαθεί να περιορίσει την εισαγωγή προϊόντων υψηλής έντασης άνθρακα.

- **Στόχοι για Μείωση των Εκπομπών από τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ:** Δεσμεύει τις χώρες της ΕΕ με στόχους για τομείς που δεν έχει μεριμνήσει το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ. Τέτοιοι τομείς είναι τα απόβλητα, η γεωργία, οι μικρές βιομηχανίες, η θέρμανση των κτιρίων και οι οδικές μεταφορές. Ο στόχος που τίθεται για αυτές τις κατηγορίες εκπομπών είναι 40% μείωση για το 2030 σε σύγκριση με το 2005. (European Parliament, 2023a)
- **Εκπομπές και απορροφήσεις λόγω δραστηριοτήτων χρήσης γης, αλλαγής χρήσης γης και δασοπονίας:** Η συγκεκριμένη πρόταση αφορά τη μείωση των εκπομπών και την αύξηση των απορροφήσεων στους τομείς της χρήσης γης και της δασοπονίας. Σε επίπεδο ΕΕ οι απορροφήσεις για το 2019 ήταν 249 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου CO₂. Νέος στόχος τίθεται για το 2030 οι 310 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου CO₂. (Council of Europe, 2023e)
- **Πρότυπα Εκπομπών CO₂ για τα ελαφρά οχήματα:** Αφορά στόχους για μείωση των εκπομπών σε αυτοκίνητα και ημιφορτηγά ως το 2030 και το πιο σημαντικό, απόλυτη κλιματική ουδετερότητα σε εκπομπές για καινούργια τέτοια οχήματα ως το 2035. Σύμφωνα με τον κανονισμό της ΕΕ για τα καινούρια ελαφρά οχήματα, γίνεται αναφορά και στην ηλεκτροκίνηση με συσσωρευτή, στις κυψέλες καυσίμου και στην κίνηση με υδρογόνο. (Council of Europe, 2023f)
- **Μείωση Εκπομπών Μεθανίου:** Οι εκπομπές μεθανίου είναι η δεύτερη πιο σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου με την πρώτη θέση να καταλαμβάνει το διοξείδιο του άνθρακα. Η πρόταση θέτει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών μεθανίου κατά 30 % έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2020.
- **Βιώσιμα Αεροπορικά Καύσιμα:** Αυτή τη στιγμή το ποσοστό χρήσης των Βιώσιμων Αεροπορικών Καυσίμων(SAFs) στον τομέα των εναέριων μεταφορών αποτελεί μόλις το 0,05 % της συνολικής χρήσης καυσίμων.
Η πρόταση ReFuelEU Aviation αποσκοπεί στη μεγαλύτερη διείσδυση αυτών των βιώσιμων καυσίμων στις αερομεταφορές. Σύμφωνα με τον κανονισμό του Οκτωβρίου του 2023 τίθεται στόχος για μερίδιο χρήσης SAFs σε ποσοστό 6% για το 2030 και 70% για το 2050. (Council of Europe, 2023g)

- **Καύσιμα Χαμηλής Έντασης Ανθρακα για τη Ναυτιλία:** Η πρόταση, γνωστή και ως πρωτοβουλία FuelEU Maritime, αφορά τη μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων και χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών καυσίμων στη ναυτιλία. Στόχος, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο συγκεκριμένο τομέα έως 80% μέχρι το 2050
- **Υποδομές Εναλλακτικών Καυσίμων:** Αφορά τη δημιουργία υποδομών που επιτρέπουν στα οχήματα και τα πλοία να ανεφοδιάζονται με εναλλακτικά καύσιμα. Μεταξύ των στόχων για μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος σε αυτόν τον τομέα ως το 2030 είναι η πυκνή εγκατάσταση σταθμών επαναφόρτισης, η εγκατάσταση σταθμών ανεφοδιασμού με το καύσιμο του υδρογόνου και η ευκολία στην πληρωμή για τους χρήστες στα σημεία αγοράς καυσίμων.
- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:** Αφορά το στόχο της ΕΕ για το ποσοστό ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές επί του συνόλου της τελικής ενεργειακής ζήτησης. Ορίζεται να φτάνει το 40% του συνολικού ενεργειακού μίγματος το 2030. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ταχύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στους τομείς των μεταφορών, των κτιρίων και της βιομηχανίας.
- **Ενεργειακή Απόδοση:** Στόχος είναι να υποχωρήσει η τελική ενεργειακή κατανάλωση στην ΕΕ κατά 11,7 % το 2030, σε σύγκριση με τις προβλέψεις που είχαν γίνει το 2020. Αυτό θα επιτευχθεί με θέσπιση υποχρέωσης για τα κράτη της ΕΕ να εξοικονομήσουν ενέργεια τόσο με τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς όσο και με τη μείωση της κατανάλωσης των κτιρίων του δημόσιου τομέα. Στα κτίρια γενικότερα θέτονται δύο κύριοι στόχοι. Ο ένας είναι όλα τα νέα κτίρια να μην παράγουν εκπομπές ως το 2030. Ο άλλος είναι τα ήδη υπάρχοντα κτίρια να καταστούν κλιματικά ουδέτερα ως το 2050.
- **Μέτρα στην αγορά υδρογόνου και απανθρακοποιημένου αερίου:** Αφορά την αλλαγή από την εκτεταμένη χρήση του φυσικού αερίου σε νέες μορφές ανανεώσιμων αερίων και αερίων χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος και την επιτάχυνση της ανάπτυξης και χρήσης τους ως το 2030 και ύστερα. Όλα αυτά με θέσπιση κανόνων για την προστασία των καταναλωτών και την εφοδιαστική ασφάλεια.
- **Ενεργειακή Φορολογία:** Αφορά τη φορολογία της ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα των προϊόντων ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η φορολογία αυτή να ακολουθήσει τους στόχους της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια, να

βελτιωθεί η ενεργειακή αγορά στο εσωτερικό της ΕΕ και να διασφαλιστούν τα οικονομικά οφέλη για τους εθνικούς λογαριασμούς των κρατών της ΕΕ.

2.3 Σύνοψη Στόχων Ελλάδας

Η σύνοψη των στόχων που θέτει το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ για το 2030 αποτυπώνονται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα:

	ΕΣΕΚ 2019	Αναθεώρηση ΕΣΕΚ	Στοιχεία 2021
Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (χωρίς LULUCF ¹) ως ποσοστό σε σχέση με το 1990	-46%	-54%	-26%
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως ποσοστό της τελικής ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης	35%	44%	22%
Τελική ακαθάριστη ενεργειακή κατανάλωση σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου	16.5	15.4	15.65

Πίνακας 1 Σύνοψη Στόχων ΕΣΕΚ

2.3.1 Η Πράσινη Ενεργειακή Μετάβαση

Το ΕΣΕΚ δίνει μεγάλη έμφαση στους στόχους και τους τρόπους που θα γίνει η ενεργειακή μετάβαση στη χώρα. Η Ελλάδα επιθυμεί να γίνει υπόδειγμα στην ταχύτητα αφομοίωσης και στο μέγεθος της χρήσης καθαρής ενέργειας. Επιθυμείται μέσα από τη χρήση πράσινων τεχνολογιών να αναπτυχθεί περισσότερο η εθνική βιομηχανία και οικονομία όπως και να προστατευθούν οι ευάλωτοι πολίτες με αξιοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερο ευρωπαϊκών και κρατικών χρηματοδοτικών μηχανισμών.

Όμως, αν και τελικά το κόστος της ενέργειας σε μια πλήρως κλιματικά ουδέτερη κοινωνία και οικονομική δραστηριότητα είναι μειωμένο σε σχέση με την μη ύπαρξη τέτοιων τεχνολογιών, απαιτούνται υψηλοί οικονομικοί πόροι για επένδυση από όλους τους τομείς της οικονομίας, όπως και των νοικοκυριών. Συγκεκριμένα, για τα νοικοκυριά απαιτείται οικονομική επένδυση για την ενεργειακή ανακαίνιση των

¹ Land Use, Land-Use Change and Forestry

κατοικιών και την αγορά συσκευών τελευταίας τεχνολογίας. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα και δυσκολία στους πολίτες, επιπρόσθετα της ενεργειακής φτώχειας που μαστίζει πολλές οικογένειες. Για αυτό, δίνεται έμφαση στο ΕΣΕΚ στην ενίσχυση των οικονομικά ευάλωτων νοικοκυριών με διάφορους τρόπους όπως είναι οι επιδοτήσεις για να εγγυηθεί η πράσινη μετάβαση για όλες τις δραστηριότητες στη χώρα αλλά και για να μην υπάρξει κοινωνική αδικία.

Για την επιτυχία της πράσινης μετάβασης θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα για την ανάπτυξη και τη βέλτιστη λειτουργία υποδομών όπως είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Οι επενδύσεις σε αυτές τις υποδομές θα βρίσκονται υπό την εποπτεία του κράτους. Εξετάζεται στο ΕΣΕΚ πως θα διευκολυνθούν αυτές οι επενδύσεις.

Από τη στιγμή που οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας εντός της χώρας διαφαίνεται μια ευκαιρία για μείωση των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων από το εξωτερικό. Οπότε μαζί με τη μείωση των εκπομπών ανακύπτουν τα εξής στρατηγικά οφέλη για την χώρα:

- Σημαντική μείωση των εισαγωγών ενεργειακών προϊόντων, με κύρια παραδείγματα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτό επιφέρει ενίσχυση της ενεργειακής αυτόαρκειας. Η εισαγωγή μεταλλευμάτων και πρώτων υλών για την λειτουργία των ΑΠΕ θεωρείται πλήρως ελέγξιμη. (European Commission, 2022b)
- Αποσύνδεση της εξάρτησης από γεωπολιτικές αναταραχές και πετρελαϊκές κρίσεις που εκτοξεύουν τις τιμές της ενέργειας όπως έγινε πρόσφατα με το φυσικό αέριο. Μελλοντικά οι τιμές της ενέργειας δεν θα έχουν μεγάλες διακυμάνσεις και θα είναι ευκολότερα προβλέψιμες.
- Ενίσχυση της εθνικής οικονομίας μιας και οι ΑΠΕ θα χρησιμοποιούνται εντός της χώρας και θα της προσδίδουν οικονομικά οφέλη.
- Χάρη στην αξιοσημείωτη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προβλέπεται σημαντική μείωση του ατμοσφαιρικού νέφους που υπάρχει στις πόλεις. Με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων προβλέπεται και μείωση της ηχορύπανσης.

2.3.2 Στόχοι του ΕΣΕΚ

Η χώρα, δεσμευόμενη και από την ΕΕ για το 2030 από το Fit for 55, υιοθετεί φιλόδοξους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους που θα αποδώσουν τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ αποτελεί τον οδικό χάρτη για αυτή τη μετάβαση λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό σύστημα της χώρας, τη δυναμική κάθε περιοχής για ανάπτυξη πράσινων τεχνολογιών, την δυνάμενη ικανότητα ταχύτητας του μετασχηματισμού και τη συμπερίληψη των μεταβλητών που αφορούν την κοινωνία και την οικονομία.

Η κλιματική ουδετερότητα, δηλαδή η επίτευξη του ισοσκελισμού των θετικών και αρνητικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου συνεκτιμώντας την συνεισφορά σε απορροφήσεις ρυπογόνων αερίων από το έδαφος, τα δάση και τη θάλασσα, αποτελεί τον κύριο άξονα της ενεργειακής μετάβασης. Το πρώτο κρίσιμο ορόσημο για αυτή τη μετάβαση αποτελεί το 2030, το οποίο θέτει και η ΕΕ με το Fit for 55. Ύστερα, από το ΕΣΕΚ γίνεται επιθυμητό να επιταχυνθεί η αλλαγή ώστε να μειωθούν ακόμη περισσότερο τα αέρια του θερμοκηπίου έως το 2050. Το ΕΣΕΚ θέτει ενδιάμεσο ορόσημο το 2040 με συγκεκριμένους στόχους. Για το 2040 η ΕΕ δεν έχει καταλήξει μέχρι στιγμής σε συγκεκριμένους στόχους.

Μέσω της επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας, η χώρα προβλέπεται να επιτύχει και ενδιάμεσες σημαντικές εξελίξεις όπως είναι η περισσότερο ανταγωνιστική οικονομία και η μείωση της ανεργίας. Προβλέπεται και κοινωνικό όφελος μέσα από το σχηματισμό ανταγωνιστικότερων ενεργειακών αγορών και την αναβάθμιση του ρόλου που παίζουν οι καταναλωτές.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι κύριοι στόχοι του αναθεωρημένου ΕΣΕΚ σε σχέση με τους στόχους που είχαν τεθεί στο ΕΣΕΚ του 2019:

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

ΕΣΕΚ(Απρ. 2023)	2021 (Εκτίμηση)	ΕΣΕΚ 2019 για το 2030	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Αέρια του θερμοκηπίου χωρίς LULUCF (μεταβολή από το 1990)	-26%	-40%	-41%	-54%	-68%	-82%	-89%	-93%
Αέρια του θερμοκηπίου με LULUCF(μεταβολή από το 1990)			-44%	-57%	-72%	-87%	-95%	-99%
Δείκτης ΑΠΕ ως % ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας	22%	35%	31%	44%	65%	83%	97%	105%
Ενεργειακή Αποδοτικότητα		0%	-4%	-5%	-14%	-18%	-22%	-27%
Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (εκ. τιτ)	15.2	16.5	16.6	15.4	13.7	12.7	12.0	11.5
ΑΠΕ – Ηλεκτροπαραγωγή (% ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας)	36%	61%	58%	79%	94%	96%	96%	97%
ΑΠΕ – Θέρμανση/Ψύξη	31%	43%	36%	46%	63%	80%	99%	100%
ΑΠΕ - Μεταφορές	4%	19%	13%	29%	98%	209%	381%	584%
RFNBO (% καύσιμα μεταφορών)	0%	0%	0%	1.00%	11%	23%	31%	50%
Προηγμένα βιοκαύσιμα (% καύσιμα μεταφορών)	0%	1.50%	0%	2.40%	10%	17%	26%	32%
Συμβατικά βιοκαύσιμα (% καύσιμα μεταφορών) – άνω όριο	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%
ESR (% μεταβολή ΑτΘ στους τομείς εκτός ETS)	-32%	-40%	-36%	-46%	-61%	-76%	-84%	-87%

Πίνακας 2 Κύριοι Στόχοι Αναθεωρημένου ΕΣΕΚ

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι στρατηγικές προτεραιότητες για την επίτευξη των στόχων του ΕΣΕΚ:

1. Σημαντική ανάπτυξη των ΑΠΕ με κυριότερες τα φωτοβολταϊκά, τα αιολικά (τόσο τα χερσαία όσο και τα υπεράκτια) και τα υδροηλεκτρικά. Ενίσχυση και επιδοτήσεις για φωτοβολταϊκά στις στέγες και στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα.
2. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ απαιτεί και την ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι συσσωρευτές και η αντλησιοταμίευση, για την εξισορρόπηση, σταθεροποίηση και αποσυμφόρηση του δικτύου.
3. Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων και της αλλαγής συμπεριφοράς των καταναλωτών μέσω κινήτρων και χρηματοδότησης. Αντίστοιχα μέτρα για την βιομηχανία. Ειδική μέριμνα για την διείσδυση των αντλιών θερμότητας, οικονομικού φωτισμού κ.α. στα κτίρια του δημόσιου τομέα.

4. Εξηλεκτρισμός μεγάλου μέρους των οδικών μεταφορών. Επενδύσεις και επιδοτήσεις για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων και ταχύτατη εγκατάσταση υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης.
5. Κλιματικά ουδέτερα εναλλακτικά καύσιμα για τους τομείς των μεταφορών που δεν δύναται ή δεν είναι συμφέρον να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Έμφαση στην ανάπτυξη βιομηχανικής παραγωγής αυτών των καυσίμων εντός της χώρας.
6. Επέκταση του δικτύου αερίων καυσίμων για όλη τη χώρα με ταυτόχρονη αλλαγή τους από φυσικό αέριο σε ανανεώσιμα αέρια και μείγματα.
7. Ανάπτυξη εγχώριας παραγωγής βιοκαυσίμων και βιοαερίου με μετασχηματισμό σε βιομεθάνιο και χρήση του στο δίκτυο αερίου.
8. Πράσινο υδρογόνο. Αφορά την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ με τη δημιουργία κατάλληλων υποδομών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθαρό αέριο καύσιμο, να αξιοποιηθεί στη βιομηχανία, να αντικαταστήσει καύσιμα υψηλού ανθρακικού αποτυπώματος στις μεταφορές και να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκευση ενέργειας.
9. Ανάπτυξη δράσεων για την αξιοποίηση του εκπεμπόμενου άνθρακα. Μερικές είναι η δέσμευση CO₂ στη βιομηχανία και στην ανάπτυξη συνθετικών καυσίμων. Περαιτέρω δέσμευση CO₂ μπορεί να γίνει με τη γεωλογική αποθήκευση του.
10. Υποστήριξη νέων επιχειρηματικών δράσεων και ανάπτυξη βιομηχανιών που εμπλέκονται στην πράσινη ενεργειακή μετάβαση. Με αυτόν τον τρόπο θα αναπτυχθεί η εγχώρια οικονομία παράλληλα με την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της χώρας.

Κεφάλαιο 3: Μοντελοποίηση με LEAP και OSeMOSYS

3.1 Μοντελοποίηση Ζήτησης Ενέργειας – LEAP

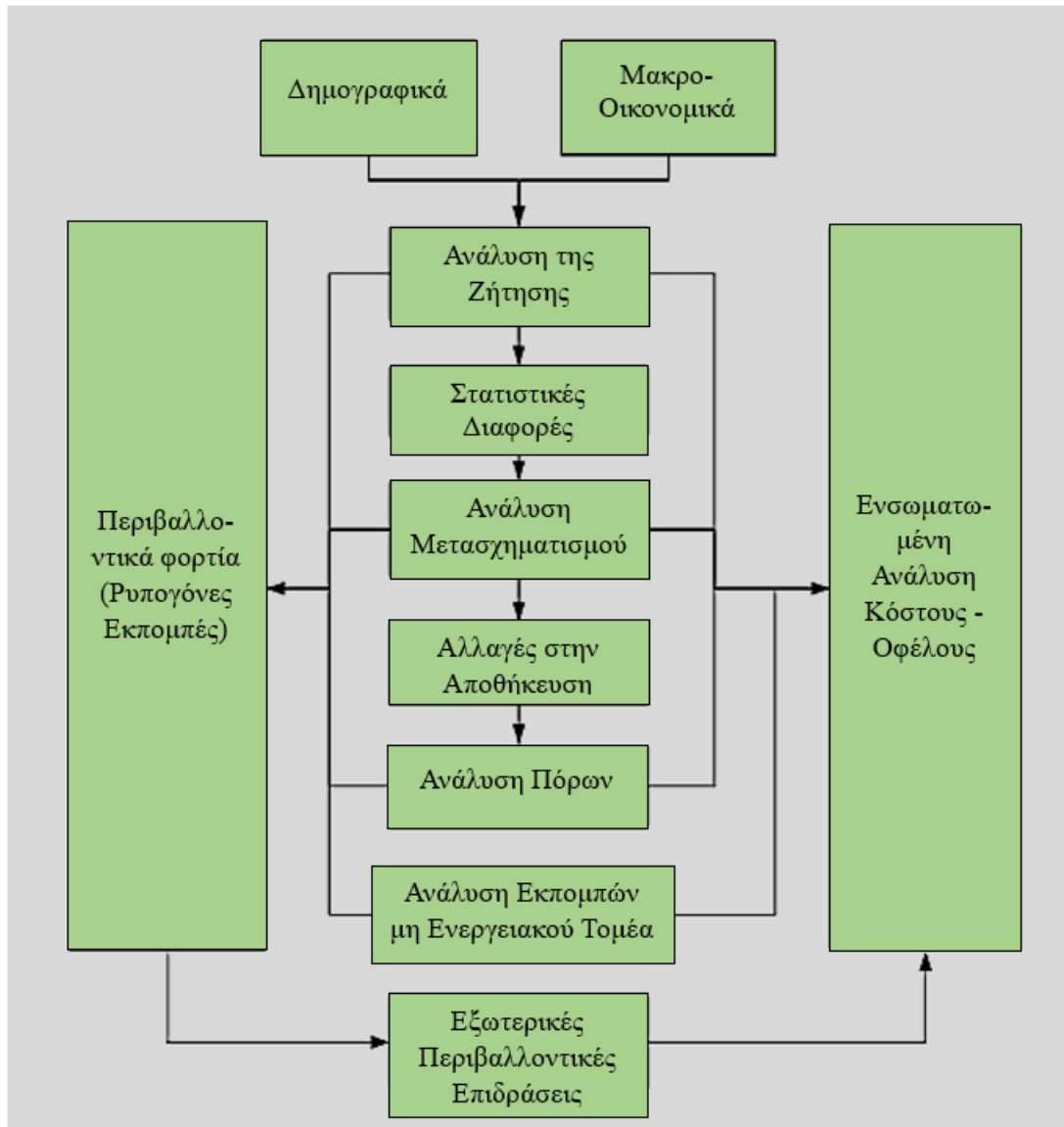
Το LEAP(Low Emissions Analysis Platform) το οποίο έχει αναπτυχθεί από το SEI(Stockholm Environment Institute) είναι ένα εργαλείο διαφανές και φιλικό προς τον χρήστη, το οποίο βοηθά στην ανάλυση ενεργειακών πολιτικών και στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Το LEAP έχει αξιοποιηθεί σε όλο τον κόσμο από μεγάλο εύρος φορέων. Οι χρήστες του κυμαίνονται από πανεπιστήμια, κερδοσκοπικές ή μη εταιρείες όπως και τα ίδια τα κράτη. Η χρήση του έχει υιοθετηθεί σε εύρος συστημάτων διαφορετικών μεγεθών, από πόλεις έως έθνη ή ακόμα και παγκόσμια. Επιπλέον, πολλές χώρες έχουν χρησιμοποιήσει το LEAP για να βοηθηθούν στην ανάπτυξη των δικών τους Εθνικά Καθορισμένων Συνεισφορών - Nationally Determined Contributions (NDCs) οι οποίες καταχωρήθηκαν στη διάσκεψη του Παρισιού για το κλίμα το 2015 για τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή - U.N. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC's) . Τέλος, στον αναπτυσσόμενο κόσμο έχει γίνει ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για το σχεδιασμό των ενεργειακών στρατηγικών και την αξιολόγηση της μείωσης των ρυπογόνων αερίων.

3.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Το LEAP είναι εργαλείο μοντελοποίησης. Βασίζεται σε σενάρια και βοηθά στην παρακολούθηση τόσο της ενέργειας που καταναλώνεται όσο και αυτής που παράγεται, μαζί με τις πηγές πόρων στην οικονομία. Επίσης βοηθά στον υπολογισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG).

Το LEAP ως εργαλείο δίνει την δυνατότητα ανάλυσης πολύπλοκων ενεργειακών εννοιών με πολύ καθαρό και απλό τρόπο. Ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο του είναι η ευελιξία του, παρέχοντας σε χρήστες διαφορετικής τεχνικής εκπαίδευσης δυνατότητα να μπορούν να το αξιοποιήσουν χωρίς μεγάλη δυσκολία.



Σχήμα 2 Η δομή των υπολογισμών του LEAP

Τονίζεται ότι το LEAP δεν είναι ένα ενεργειακό μοντέλο, αλλά ένα εργαλείο δημιουργίας ενεργειακών μοντέλων πολλαπλών συστημάτων με τις δικές τους δομές δεδομένων. Στον τομέα της ζήτησης υποστηρίζει εύρος δυνατών μοντελοποιήσεων που μπορούν να είναι τόσο bottom-up(π.χ. μικροοικονομικά μοντέλα) όσο και top-down (π.χ. μακροοικονομικά μοντέλα). Στον τομέα της προσφοράς υποστηρίζει δυνατότητες μοντελοποίησης τόσο της ηλεκτροπαραγωγής όσο και της επέκτασης χωρητικότητας. Επιπλέον το LEAP επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων για τη δημιουργία πολλαπλών σεναρίων με δυνατότητα εύκολης παραγωγής αποτελεσμάτων και συγκρίσεων μεταξύ τους. Στην παρούσα διπλωματική θα αξιοποιηθεί μόνο το κομμάτι της ζήτησης από το

LEAP καθώς το κομμάτι της ηλεκτροπαραγωγής θα εξεταστεί με το μοντέλο OSeMOSYS.

Όσον αφορά το εύρος χρόνου, το LEAP αποτελεί ένα εργαλείο μοντελοποίησης που στοχεύει στην ανάλυση και παρουσίαση μεσοπρόθεσμων ή μακροπρόθεσμων προβλέψεων. Οι υπολογισμοί γίνονται συνήθως σε ετήσια βάση και η πρόβλεψη μπορεί να γίνεται για πολύ μεγάλο αριθμό μελλοντικών ετών.

Οι μελέτες που γίνονται ξεκινούν στη βάση τους με δεδομένα ιστορικά, επονομαζόμενα και ως Current Accounts. Με αυτά το μοντέλο εκτελείται για να δοκιμαστεί αν αναπαράγει τα γνωστά ιστορικά αποτελέσματα. Τα Current Accounts επίσης χρησιμοποιείται ως πρώτος κόμβος για τα μελλοντικά σενάρια.

Στο LEAP συνήθως οι μοντελοποιήσεις που γίνονται καλύπτουν ένα χρονικό εύρος πρόβλεψης 20 με 50 ετών. Επίσης, δίνεται και η δυνατότητα ορισμένα αποτελέσματα να έχουν μεγαλύτερη χρονική λεπτομέρεια από ό,τι το έτος.

Όσον αφορά τα σενάρια, το LEAP στηρίζεται στην έννοια της ανάλυσης σεναρίων, χρησιμοποιώντας τα για να δημιουργήσει μια όψη της μελλοντικής πραγματικότητας για ένα ενεργειακό σύστημα. Μέσω του LEAP δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας και αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων ανάλογα με το σκοπό που θέλουν να εξυπηρετήσουν. Συνεπώς, εύκολα μπορεί ένας αναλυτής μέσω του LEAP να συνδυάσει μεμονωμένες αλλαγές στα σενάρια (π.χ. μέτρα πολιτικής για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου) για να κατανοήσει τα πιθανά αποτελέσματα τους.

Σε σύγκριση με πολλά εργαλεία μοντελοποίησης, η ποσότητα των αρχικών δεδομένων που απαιτούνται για τη χρήση του LEAP είναι μικρή. Επιπρόσθετα πολλές λειτουργίες του είναι προαιρετικές, κάτι που σημαίνει ότι οι απαιτήσεις για να δουλέψει κανείς με αυτό είναι πολύ χαμηλές. Μπορεί κάποιος χρήστης να ξεκινήσει με τρέξιμο κάποιου βασικού σεναρίου να δει αποτελέσματα και έπειτα επαναληπτικά να προσθέσει επιπλέον δεδομένα ή κλάδους για να δει πως επηρεάζουν αυτοί οι παράμετροι το μοντέλο και τις εξόδους του.

3.1.2 Διεπαφή

Στο παράθυρο Ανάλυσης (Analysis) του LEAP οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν τα σενάρια και να εισάγουν υποστηρικτικά δεδομένα που αφορούν τόσο τα ιστορικά όσο

και τα μελλοντικά έτη. Όλη η δραστηριότητα διενεργείται σε ένα ιεραρχικό δέντρο με κλάδους που αναφέρονται σε ενεργειακές οντότητες. Το δέντρο είναι αρκετά ευέλικτο στην παραμετροποίηση του. Δύναται, για παράδειγμα, ένα μοντέλο ζήτησης να αναλύει διεξοδικά κάποιους τομείς με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιείται και σε άλλους τομείς να είναι πολύ συγκεντρωτικό και αφαιρετικό.

Όσον αφορά τους τρόπους κατασκευής μοντέλων, το LEAP περιλαμβάνει πολλά ενσωματωμένα εργαλεία, ευκολονόητα, για τη δημιουργία απαιτητικών και σύνθετων μοντέλων. Από οδηγούς χρονοσειρών μέχρι βοηθούς δημιουργίας μαθηματικών εκφράσεων. Επιπλέον παρέχεται στους χρήστες η δυνατότητα χρήσης της βάσης δεδομένων τεχνολογιών και περιβάλλοντος (The Technology and Environmental Database - TED) που παρέχει κόστη, προδιαγραφές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις για πολλές ενεργειακές τεχνολογίες. Τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης δύναται να δοθούν απευθείας στο LEAP ή με τη βοήθεια υπολογιστικών φύλλων Excel. Επίσης, είναι δυνατή η δημιουργία εκφράσεων με αναφορά σε μεταβλητές που βρίσκονται σε κλάδο του LEAP διαφορετικό από τον παρόντα επεξεργαζόμενο.

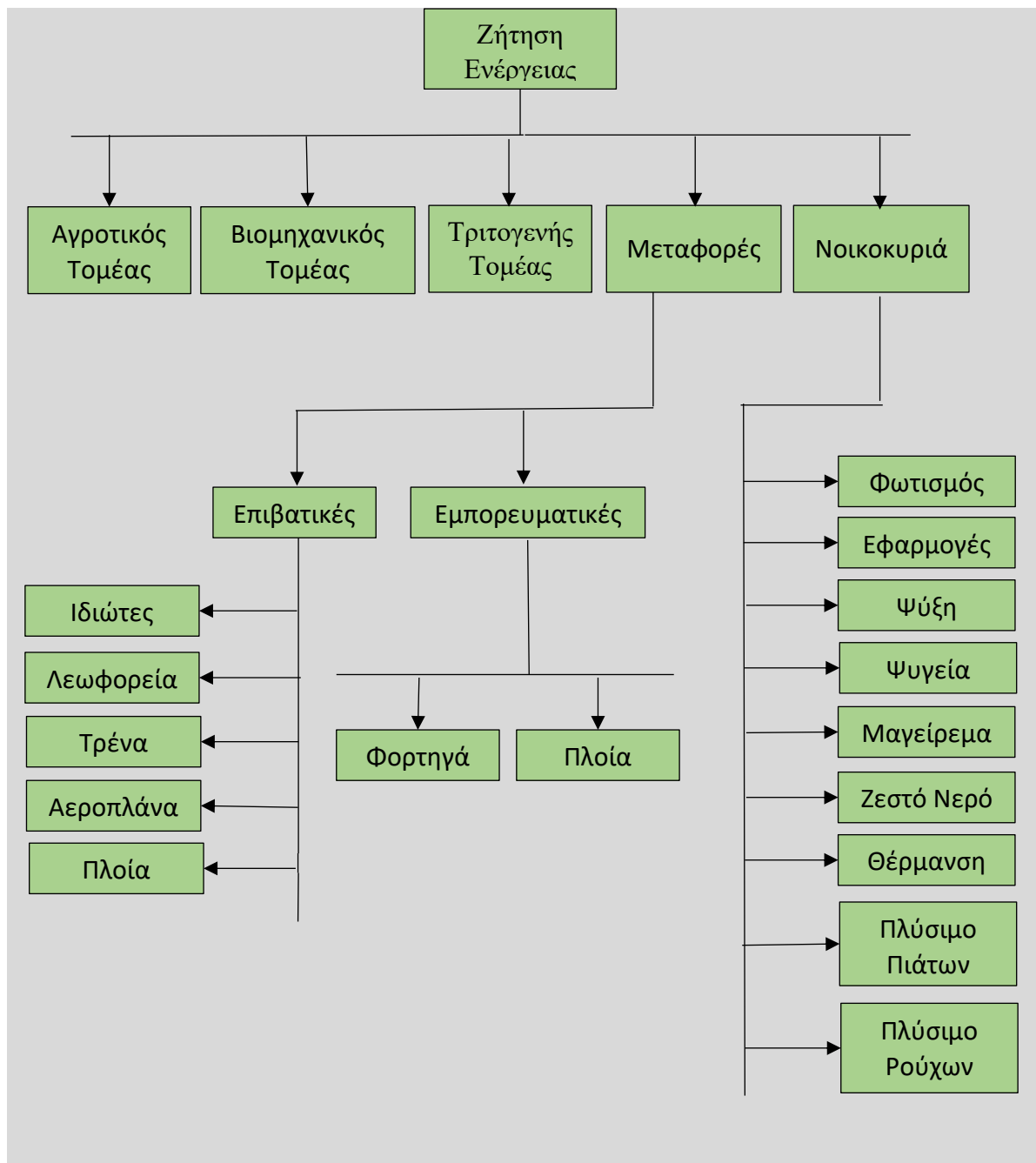
Το LEAP είναι πολύ εύχρηστο στην οπτικοποίηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων όπως και στον εντοπισμό σφαλμάτων κατά την εισαγωγή δεδομένων. Η οπτικοποίηση μπορεί να γίνει με γραφήματα όλων των γνωστών ειδών και σχημάτων. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά χρώματα σε κάθε γράφημα που να αναπαριστούν τις διάφορες τεχνολογίες ή τα καύσιμα ή γενικότερα τους εξεταζόμενους ενεργειακά τομείς. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης σεναρίων μεταξύ τους. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε πίνακες είναι εύκολη και μπορούν να καθοριστούν τα δεκαδικά ψηφία που θα απεικονιστούν. Εάν χρειαστεί μπορεί να γίνει και απεικόνιση σε χάρτες όπως και σε άλλες μορφές.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανίζονται σε όποια μονάδα μέτρησης επιθυμεί ο αναλυτής. Η έξοδος των αποτελεσμάτων από το LEAP μπορεί να γίνει εύκολα σε Excel και PowerPoint.

Το LEAP δίνει επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας του ενεργειακού ισοζυγίου σε μορφή που ακολουθεί το πρότυπο της Διεθνούς Οργάνωσης Ενέργειας (IEA) και τις πρακτικές των περισσότερων εθνικών ενεργειακών οργανισμών. Επιπρόσθετα, μπορούν να αναπαρασταθούν και διαγράμματα Sankey παρουσιάζοντας τις ροές του ενεργειακού ισοζυγίου.

3.1.3 Σενάρια

Με τη χρήση του LEAP έγινε μοντελοποίηση 2 υποθετικών σεναρίων και τα αποτελέσματα αυτών θα συγκριθούν με την προβολή της ζήτησης που κάνει το ΕΣΕΚ. Και στα 2 σενάρια αξιοποιήθηκε μια ήδη υπάρχουσα μοντελοποίηση των τομέων της ζήτησης ενέργειας που είχε γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023). Οι τομείς ενεργειακής ζήτησης με τις υποκατηγορίες τους είναι:



Σχήμα 3 Τομείς Ενεργειακής Ζήτησης

Κάθε υπό-τομέας αναλύεται περαιτέρω στο LEAP με βάση τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται. Και στα δύο σενάρια, για τα καύσιμα, γίνεται επικαιροποίηση των αριθμητικών δεδομένων και μελλοντικών τιμών που αφορούν το ποσοστό συμμετοχής καθ' ενός στον εξεταζόμενο τομέα. Επίσης ανανεώνεται η ενεργειακή ένταση καθώς και οι συγκεντρωτικοί παράμετροι(πχ αριθμός νοικοκυριών, Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (ΑΠΑ) στον αγροτικό τομέα) στο παρόν και στο μέλλον. Όπου κρίνεται σκόπιμο προστίθεται κλάδος καυσίμου.

Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστούν δύο σενάρια. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη για κάθε ένα από τα 2 αυτά σενάρια:

3.1.3.1 Κύριες Παραδοχές Σεναρίων

Σενάριο 1^ο

Οι κυριότερες παραδοχές είναι συνοπτικά:

- Η άντληση της ΑΠΑ για τον αγροτικό, βιομηχανικό και τριτογενή τομέα από τις πηγές της ΕΛΣΑΤ, για το 2015 (ELSTAT, 2018) και 2020 (ELSTAT, 2023a).
- Η προβολή της ΑΠΑ για τους προηγούμενους τομείς μέχρι το 2050, ανά πέντε χρόνια, χρησιμοποιώντας το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος(ΕΣΕΚ) (European Commission, 2023b) το οποίο δίνει πίνακα για την οικονομική ανάπτυξη αυτών των τομέων.
- Αξιοποιείται η προβολή του ΕΣΕΚ για τα υγρά καύσιμα των οποίων η χρήση περιορίζεται δραστικά και σε κάποιους τομείς μηδενίζεται έως το 2050 αλλάζοντας κατάλληλα τα άλλα καύσιμα αξιοποιώντας και την μελέτη του World Wild Fund for Nature (WWF) για την Ελλάδα(WWF, 2017).
- Για τον τομέα των μεταφορών αξιοποιείται πίνακας του ΕΣΕΚ που προβάλλει το ποσοστό χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε μεταφορές επιβατών και φορτίου.
- Στις μεταφορές αξιοποιούμε επίσης εξωτερικές πηγές και δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά για να προβάλουμε την ενεργειακή ένταση του ηλεκτρισμού και να την κατανείμουμε ανά επιβατο-χλμ. ή τονο-χλμ.

- Στα νοικοκυριά αντλούμε τον αριθμό τους από την ΕΛΣΤΑΤ (ELSTAT, 2023b) και τα προβάλλουμε με βάση το WWF και χρησιμοποιούμε τη Eurostat (Eurostat, 2024) για να καταναείμουμε την ενεργειακή ένταση ανά νοικοκυριό.

Σενάριο 2^ο

Το δεύτερο σενάριο εξετάζει τη ζήτηση ενέργειας στη χώρα βασιζόμενο στο 1^ο σενάριο αλλά μεταβάλλοντας το με κάποιες πιο αισιόδοξες παραδοχές. Οι κυριότερες είναι συνοπτικά:

- Για τον βιομηχανικό και τριτογενή τομέα αξιοποιούμε το (Deloitte, 2023) για να προβάλλουμε μια αισιόδοξη μείωση χρήσης του φυσικού αερίου.
- Για τον τομέα των μεταφορών αξιοποιείται το (Krause κ.ά., 2020) για μια πολύ αισιόδοξη πρόβλεψη στη ενεργειακή κατανάλωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.
- Στις μεταφορές αξιοποιούμε επίσης άλλες δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά που αφορούν μία αισιόδοξη βελτίωση της κατανάλωσης των αεροπορικών μεταφορών με Βιώσιμα Αεροπορικά Καύσιμα (Sustainable Aviation Fuel) όπως και τη στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις θαλάσσιες μεταφορές
- Για τα νοικοκυριά αξιοποιούμε το (Deloitte, 2023) για γρήγορη μείωση της χρήσης φυσικού αερίου και εισάγουμε μια ενεργειακή βελτιστοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών.

Όλες αυτές οι παραδοχές και ό,τι άλλο χρειάστηκε ως υπολογισμός ή δεδομένα θα αναλυθούν στη συνέχεια. Μετέπειτα, αφού θα έχει γίνει η ανάλυση και των δύο σεναρίων στο παρόν κεφάλαιο, στο 4^ο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αρκετά εξαγόμενα διαγράμματα που αναπαριστούν την υπολογισμένη ενεργειακή ζήτηση που κάνει το LEAP. Τα διαγράμματα εξάγονται εύκολα από τη διεπαφή του LEAP ή με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια θα γίνει σχολιασμός των διαγραμμάτων προς δημιουργία συμπερασμάτων για κάθε σενάριο που υλοποιείται συγκρίνοντας καίρια αποτελέσματα με αυτά του ΕΣΕΚ.

3.1.3.2 Σενάριο 1^ο

Αγροτικός Τομέας

Η ΑΠΑ για τον αγροτικό τομέα για το 2015 είναι 6.608 εκατ. Ευρώ (ELSTAT, 2018) ενώ για το 2020 είναι 7.011 εκατ. Ευρώ (ELSTAT, 2023a).

Από το ΕΣΕΚ λαμβάνουμε τους οικονομικούς ρυθμούς μεταβολής της ΑΠΑ για τον αγροτικό τομέα και υπολογίζουμε την οικονομική δραστηριότητα του κλάδου έως το 2050.

Για την ενεργειακή ένταση χρησιμοποιούμε μια μεθοδολογία υπολογισμού τόσο εδώ όσο και σε παρόμοιες περιπτώσεις στην υπόλοιπη διπλωματική:

Σύμφωνα με το WWF (WWF, 2017) αντλούμε τις αρχικές καταναλώσεις των καυσίμων μέχρι το 2050.

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η χρήση υγρών καυσίμων(εκατ. τιπ) στον Αγροτικό τομέα δίνεται από τον πίνακα:

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1,5	1,3	0,8	0,3	0,1	0	0

Πίνακας 3 Εκατ. τιπ υγρών καυσίμων στον αγροτικό τομέα

Από τη στιγμή που οι προβλέψεις μέχρι το 2050 για τον αγροτικό τομέα αφορούν ζήτηση (καυσίμων) μόνο ηλεκτρισμού, ηλιακής ενέργειας, βιομάζας και Diesel χρησιμοποιούμε τον πίνακα 3 και πάμε σταδιακά την ζήτηση Diesel στο 0 με τα άλλα καύσιμα να παίρνουν αναλογικά ότι υπολείπεται. Για παράδειγμα εάν η ζήτηση σε ηλεκτρισμό είναι H, σε ηλιακή ενέργεια S, σε βιομάζα B και σε Diesel D εργαζόμαστε ως εξής:

$$D_{2025\text{μετά}} = (\text{Χρήση}_{2025} / \text{Χρήση}_{2020}) * D_{2020} = 1,3/1,5 * D_{2020} \text{ κοκ.}$$

$$\text{Ενώ } H_{2025\text{μετά}} = H_{2025\text{πριν}} + (D_{2025\text{πριν}} - D_{2025\text{μετά}}) * H_{2025\text{πριν}} / (H_{2025\text{πριν}} + S_{2025\text{πριν}} + B_{2025\text{πριν}})$$

κοκ. Για όλες τις χρονιές και όλα τα καύσιμα και τα κατανέμουμε ανά ευρώ με τη βοήθεια της οικονομική; δραστηριότητας του κλάδου.

Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται στο Excel και εισάγονται στα κατάλληλα πεδία του LEAP.

Βιομηχανικός Τομέας

Η ΑΠΑ για τον βιομηχανικό τομέα για το 2015 είναι 21.047 εκατ. Ευρώ (ELSTAT, 2018) ενώ για το 2020 είναι 22.082 εκατ. Ευρώ(ELSTAT, 2023a).

Από το ΕΣΕΚ λαμβάνουμε τους οικονομικούς ρυθμούς μεταβολής της ΑΠΑ για τον βιομηχανικό τομέα και υπολογίζουμε την οικονομική δραστηριότητα του κλάδου έως το 2050.

Για την ενεργειακή ένταση:

Σύμφωνα με το WWF (WWF, 2017) αντλούμε τις αρχικές καταναλώσεις των καυσίμων μέχρι το 2050

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η χρήση υγρών καυσίμων(εκατ. τιπ) στον Βιομηχανικό τομέα δίνεται από τον πίνακα:

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1,9	1,8	1,6	0,9	0,3	0,1	0,1

Πίνακας 4 Εκατ. τιπ υγρών καυσίμων στη βιομηχανία

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Λιγνίτης
- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Fuel Oil
- Άλλα Πετρελαϊκά Προϊόντα
- Φυσικό Αέριο
- Βιομάζα
- Ηλιακή Ενέργεια και Άλλες Ανανεώσιμες
- Ηλεκτρισμός
- Ατμός

Ο υπολογισμός των καινούριων μελλοντικών τελικών καταναλώσεων των καυσίμων υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα με τη διαφορά ότι εδώ πάμε στο 0 σταδιακά ως το 2050 τρία καύσιμα: το Diesel(D), το Fuel Oil(O) και τα Άλλα Πετρελαϊκά Προϊόντα(P).

Ο υπολογισμός για ένα καύσιμο F ,εκτός των υγρών καυσίμων, και για κάποια χρονιά, γίνεται μέσω της σχέσης:

$$F_{\text{μετά}} = F_{\text{πριν}} + [\Sigma(D_{\text{πριν}} + O_{\text{πριν}} + P_{\text{πριν}}) - \Sigma(D_{\text{μετά}} + O_{\text{μετά}} + P_{\text{μετά}})] * F_{\text{πριν}} / [\Sigma(\text{Καύσιμα}_{\text{πριν}} \text{ εκτός υγρών})]$$

Οι υπολογισμοί έγιναν στο Excel για τις χρονιές και όλα τα καύσιμα τα οποία καταναίμαμε ανά ευρώ με τη βοήθεια της οικονομικής δραστηριότητας του κλάδου. Συγκεκριμένα για κάθε πενταετία βάλαμε στο LEAP στο πεδίο της ενεργειακής έντασης το πηλίκο της τελικής κατανάλωσης για κάθε καύσιμο προς το μέγεθος της οικονομικής δραστηριότητας εκείνου του έτους.

Τριτογενής Τομέας

Η ΑΠΑ για τον τριτογενή τομέα για το 2015 είναι 128.051 εκατ. Ευρώ (ELSTAT, 2018) ενώ για το 2020 είναι 115.995 εκατ. Ευρώ (ELSTAT, 2023a).

Από το ΕΣΕΚ λαμβάνουμε τις οικονομικούς ρυθμούς μεταβολής τις ΑΠΑ για τον τριτογενή τομέα και στη συνέχεια υπολογίζουμε την οικονομική δραστηριότητα του κλάδου

Για την ενεργειακή ένταση:

Σύμφωνα με το WWF (WWF, 2017) αντλούμε τις αρχικές καταναλώσεις των καυσίμων μέχρι το 2050

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η χρήση υγρών καυσίμων(εκατ. Τιπ) στον Τριτογενή τομέα δίνεται από τον πίνακα:

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1,5	1,3	0,8	0,3	0,1	0	0

Πίνακας 5 Εκατ. Τιπ υγρών καυσίμων στον τριτογενή τομέα

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Στερεά Καύσιμα
- Πετρέλαιο
- Φυσικό Αέριο
- Ηλιακή Ενέργεια και Τις Ανανεώσιμες
- Ηλεκτρισμός
- Ατμός

Ο υπολογισμός των καινούριων μελλοντικών τελικών καταναλώσεων των καυσίμων υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες

Οι υπολογισμοί έγιναν στο Excel για όλες τις χρονιές και όλα τα καύσιμα, τα οποία καταναίμαμε ανά ευρώ με αντίστοιχο τρόπο που εξηγήθηκε προηγουμένως.

Μεταφορές Επιβατικές

Ιδιωτικά Οχήματα

Αρχικά λαμβάνουμε τα επιβατο-χλμ. για όλες τις χρονιές από το WWF

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Βενζίνη (Gasoline)
- Υγραέριο (LPG - Liquefied Petroleum Gas)
- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Ηλεκτρισμός
- Βιοντίζελ (Biodiesel)

Για το επίπεδο δραστηριότητας και τα ποσοστά που λαμβάνουν αρχικά κάθε ένα από αυτά τα καύσιμα χρησιμοποιήθηκε η εργασία που είχε γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023)

Στην παρούσα εργασία μεταβάλλουμε το ποσοστό χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων μέχρι το 2050 σύμφωνα με το ΕΣΕΚ :

Electric	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	0,00%	3,00%	20,00%	50,00%	72,00%	87,00%	98,00%

Πίνακας 6 Επιβατο-χλμ. αυτοκινήτων με ηλεκτρική κίνηση ως % του συνόλου

Επίσης μειώνουμε το ποσοστό των άλλων καυσίμων αναλογικά με την αύξηση του ποσοστού ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα:

$$LPG_{2025\%} = LPG_{2020\%}(100\% - Electric_{2025\%})$$

κοκ. για κάθε χρονιά και καύσιμο.

Για την ενεργειακή ένταση των καυσίμων πλην του ηλεκτρισμού λήφθηκε υπόψη η εργασία που έχει γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023). Για να μοντελοποιήσουμε την ενεργειακή ένταση του ηλεκτρισμού το σκεπτικό που ακολουθήθηκε είναι το εξής:

Από (ACEA, 2023) λαμβάνουμε το ποσοστό πωλήσεων μικρών και μεγάλων αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα ποσοστά προσεγγιστικά είναι 40% για τα μικρά και 60% για τα μεγάλα.

Από (Krause κ.ά., 2020) λαμβάνεται για το 2015 η ενεργειακή κατανάλωση των μικρών αυτοκινήτων ως 155 Wh/km και των μεγάλων αυτοκινήτων ως 189 Wh/km. Η μέση κατανάλωση υπολογίζεται ότι είναι 175,4 Wh/km.

Από την ίδια πηγή (Krause κ.ά., 2020) λαμβάνεται για το 2050 η ενεργειακή κατανάλωση των μικρών αυτοκινήτων ως 74 Wh/km σε ένα αισιόδοξο σενάριο και 109 Wh/km σε ένα απαισιόδοξο σενάριο, η μέση τιμή για ένα ουδέτερο σενάριο την υπολογίζουμε μεσοσταθμικά ως 91,5 Wh/km. Επίσης, για το 2050 η ενεργειακή κατανάλωση των μεγάλων αυτοκινήτων λαμβάνεται ως 96 Wh/km σε ένα αισιόδοξο σενάριο και 135 Wh/km σε ένα απαισιόδοξο σενάριο, η μέση τιμή για ένα ουδέτερο σενάριο υπολογίζεται ως 115,5 Wh/km. Συνεπώς, η μέση κατανάλωση υπολογίζεται ως 105,9 Wh/km.

Από (Politis κ.ά., 2021) το ποσοστό επιβατών ανά αυτοκίνητο είναι 1,46 άτομα. Κατά αυτόν τον τρόπο δύναται να υπολογιστεί η ενεργειακή ένταση ως $175,4/1,46 = 120,13$ Wh/επιβατο-χλμ = 0,12013 kWh/επιβατο-χλμ για το 2015 και $105,9/1,46 = 72,53$ Wh/επιβατο-χλμ = 0,07253 kWh/επιβατο-χλμ για το 2050. Αυτά τα δεδομένα εισάγονται στο LEAP ως η ενεργειακή ένταση για τα αυτοκίνητα.

Σημειώνεται ότι θα μελετηθεί σε 2^ο σενάριο μια πιο αισιόδοξη παραδοχή για αυτόν τον τομέα. Επίσης, θα μοντελοποιηθεί και ένα υπό-σενάριο για να εξεταστεί και η απαισιόδοξη εξέλιξη για τα Ιδιωτικά Οχήματα.

Λεωφορεία

Εδώ δεχόμαστε το ίδιο ποσοστό εξηλεκτρισμού όπως στα ιδιωτικά οχήματα σύμφωνα με τον πίνακα 6. Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Ηλεκτρισμός
- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Φυσικό Αέριο
- Βιοντίζελ (Biodiesel)

Χρησιμοποιούμε τους ίδιους τύπους που χρησιμοποιήσαμε και στα ιδιωτικά οχήματα για να υπολογίσουμε τα ποσοστά κάθε καυσίμου και αξιοποιούμε την δουλειά που έχει γίνει στο (Karamaneas κ.ά., 2023) για την ενεργειακή ένταση.

Τρένα-Αερομεταφορές-Ναυσιπλοΐα

Για τα τρένα θεωρούμε ότι υπάρχει πλήρης εξηλεκτρισμός από το 2020 και μετά. Για την ενεργειακή ένταση αξιοποιήθηκε το (Karamaneas κ.ά., 2023)

Για τις Αερομεταφορές το καύσιμο που μοντελοποιείται είναι το Jet Kerosene και ακολουθείται πλήρως η εισαγωγή δεδομένων με βάση το (Karamaneas κ.ά., 2023). Σημειώνεται ότι θα μελετηθεί σε 2^ο σενάριο μια πιο αισιόδοξη παραδοχή για αυτόν τον τομέα.

Για τη Ναυσιπλοΐα Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Μαζούτ (Mazut)
- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Νάφθα (Naphtha)

Επίσης εδώ ακολουθείται πλήρως η εισαγωγή δεδομένων με βάση το (Karamaneas κ.ά., 2023). Σημειώνεται ότι θα μελετηθεί σε 2^ο σενάριο μια πιο αισιόδοξη παραδοχή και για αυτόν τον τομέα

Μεταφορές Φορτίων

Φορτηγά

Αρχικά λαμβάνουμε τα τονο-χλμ. για όλες τις χρονιές από το WWF

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Βιοντίζελ (Biodiesel)

Για το επίπεδο δραστηριότητας και τα ποσοστά που λαμβάνουν αρχικά κάθε ένα από αυτά τα καύσιμα χρησιμοποιήθηκε η εργασία που είχε γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023)

Προσθέτουμε ένα νέο καύσιμο το Ηλεκτρισμός-Υδρογόνο το οποίο μεταβάλλεται μέχρι το 2050 σύμφωνα με το ΕΣΕΚ:

Electric-Hydrogen	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	0,00%	0,00%	3,00%	10,00%	23,00%	44,00%	61,00%

Πίνακας 7 Τονο-χλμ. μεταφορικών μέσων με ηλεκτρισμό ή υδρογόνο ως % του συνόλου

Επίσης μειώνουμε το ποσοστό των άλλων καυσίμων αναλογικά με την αύξηση του ποσοστού μεταφοράς με ηλεκτρισμό ή υδρογόνο.

Για την ενεργειακή ένταση των καυσίμων πλην του ηλεκτρισμού-υδρογόνου λήφθηκε υπόψη η εργασία που έχει γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023). Για να μοντελοποιήσουμε την ενεργειακή ένταση του ηλεκτρισμού-υδρογόνου το σκεπτικό που ακολουθήθηκε είναι το εξής:

Από (Eurostat, 2023b) λαμβάνεται το μέσο φορτίο σε οδικές μεταφορές ως 14,9 tonnes στην Ελλάδα. Ενώ από (Earl κ.ά., 2018) λαμβάνεται μια αποδοτική κατανάλωση για τα φορτηγά με ηλεκτρικές μπαταρίες ως 1,15 kWh/km ενώ μια λιγότερη αποδοτική είναι 1,44 kWh/km. Αν θεωρήσουμε την κατανάλωση 1,44 kWh/km ως την τρέχουσα κατανάλωση ενώ την κατανάλωση 1,15 kWh/km ως την μέση κατανάλωση το 2050 μπορούμε να υπολογίσουμε την ενεργειακή ένταση για το 2020 ως $1,44/14,9 = 0,0966$ kWh/tono-χλμ. Για το 2050 υπολογίζουμε $1,15/14,9 = 0,0771$ kWh/tono-χλμ.

Πλοία

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται είναι:

- Μαζούτ (Mazut)
- Πετρέλαιο Κίνησης (Diesel)
- Νάφθα (Naphtha)

Ακολουθείται πλήρως η εισαγωγή δεδομένων με βάση το (Karamaneas κ.ά., 2023). Σημειώνεται ότι θα μελετηθεί σε 2^ο σενάριο μια πιο αισιόδοξη παραδοχή για αυτόν τον τομέα.

Νοικοκυριά

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

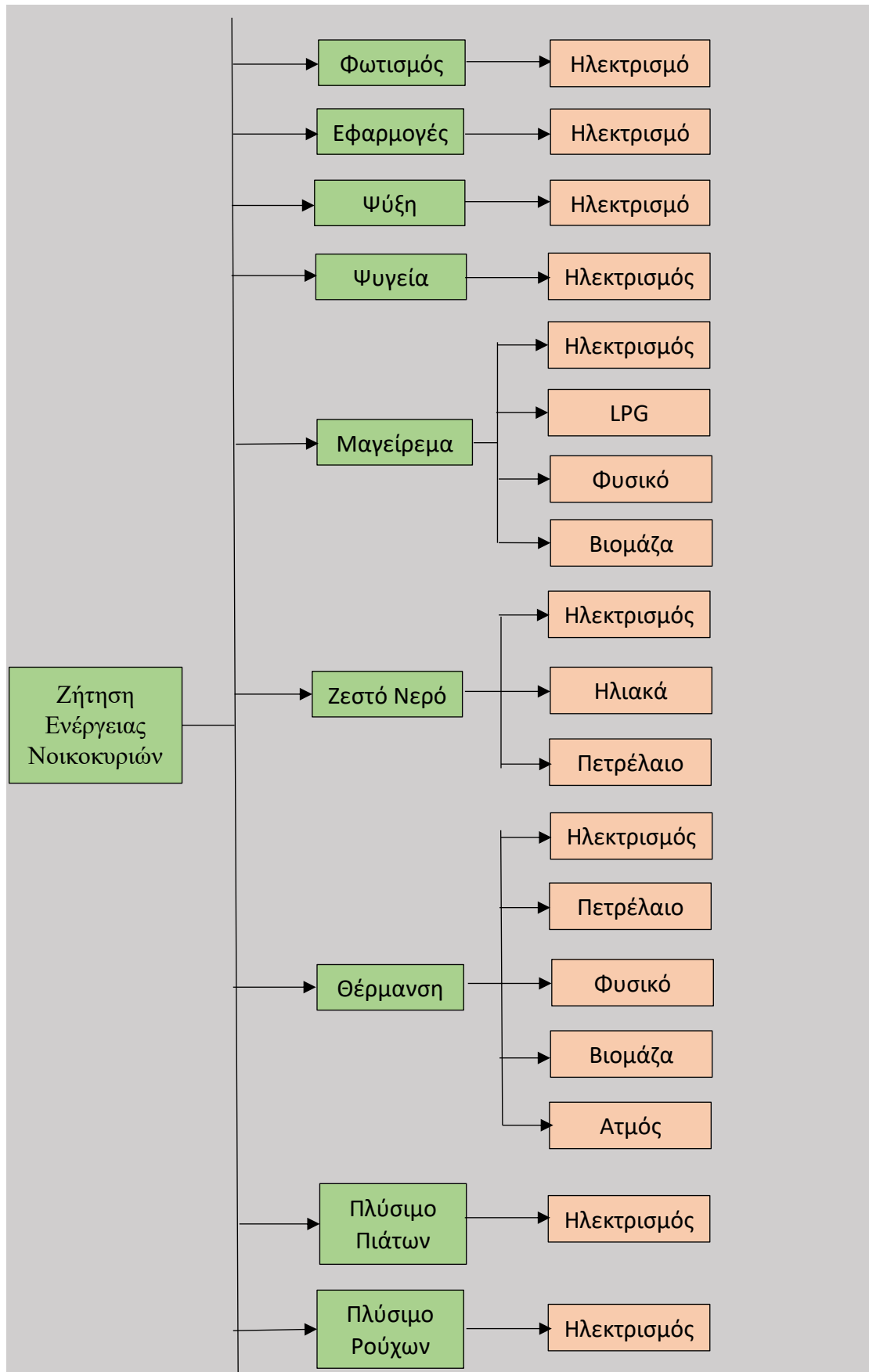
Από (ELSTAT, 2023b) λαμβάνουμε τον αριθμό των νοικοκυριών για το 2020 ως 4.332.447 ενώ μελλοντικές προβλέψεις για αυτά παίρνουμε από το WWF.

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
4.332.447	4.449.040	4.591.727	4.728.744	4.860.294	4.980.607	5.078.173

Πίνακας 8 Αριθμός Νοικοκυριών

Για κάθε τομέα που αναφέρθηκε στη σ. 5 της παρούσας εργασίας, αντλούμε τις αρχικές καταναλώσεις των καυσίμων μέχρι το 2050 σύμφωνα με το WWF (WWF, 2017).

Τα καύσιμα που μοντελοποιούνται για κάθε τομέα είναι:



Σχήμα 4 Μοντελοποιούμενα Καύσιμα στα Νοικοκυριά

Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ η χρήση υγρών καυσίμων(εκατ. Τιτ) στα νοικοκυριά δίνεται από τον πίνακα:

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1,1	0,5	0,1	0,1	0	0	0

Πίνακας 9 Εκατ. Τιτ υγρών καυσίμων στον στα νοικοκυριά

Εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία για την κατανομή των καυσίμων που έχουμε κάνει σε αυτήν την εργασία και μοιράζοντας αναλογικά τα καύσιμα για κάθε τομέα παίρνουμε μια νέα ενεργειακή ένταση για κάθε καύσιμο την οποία καταθέτουμε ανά νοικοκυριό σύμφωνα με τον πίνακα 8.

Παρακάτω παρουσιάζεται το 2^ο σενάριο.

3.1.3.3 Σενάριο 2^ο

Αγροτικός Τομέας

Δεν εφαρμόζουμε κάποια αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 1.

Βιομηχανικός Τομέας

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με τη μελέτη του (Deloitte, 2023) προβλέπεται για το 2040 μια μείωση της χρήσης του φυσικού αερίου στον βιομηχανικό τομέα κατά 50% σε σχέση με το 2018 και για το 2050 μείωση κατά 80%. Με αυτά τα δεδομένα τροποποιούμε το LEAP.

Τριτογενής Τομέας

Στην ΕΕ σύμφωνα με το (Deloitte, 2023) προβλέπεται μείωση χρήσης του φυσικού αερίου στον τομέα των κτιρίων το 2030 -12.5%, το 2040 -70% και το 2050 -95% σε σχέση με το 2018. Αυτά αποτυπώνονται με κατάλληλη αλλαγή στο LEAP.

Μεταφορές Επιβατικές

Ιδιωτικά Οχήματα

Από (Krause κ.ά., 2020) τροποποιούμε την ενεργειακή κατανάλωση των μικρών αυτοκινήτων ως 74 Wh/km επιλέγοντας το αισιόδοξο σενάριο. Επίσης, για το 2050 η ενεργειακή κατανάλωση των μεγάλων αυτοκινήτων λαμβάνεται ως 96 Wh/km επιλέγοντας το αισιόδοξο σενάριο. Η μέση κατανάλωση υπολογίζεται ως 87,2 Wh/km.

Από (Politis κ.ά., 2021) το ποσοστό επιβατών ανά αυτοκίνητο είναι 1,46 άτομα.

Κατά αυτόν τον τρόπο δύναται να υπολογιστεί η ενεργειακή ένταση στο αισιόδοξο σενάριο ως $87,2/1,46 = 59,72$ Wh/επιβατο-χλμ = 0,05972 kWh/επιβατο-χλμ για το 2050. Αυτό εισάγεται στο LEAP.

Λεωφορεία

Δεν εφαρμόζουμε κάποια αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 1.

Τρένα

Δεν εφαρμόζουμε κάποια αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 1.

Αεροπορικές Μεταφορές

Για τις αεροπορικές μεταφορές μελετούμε την χρήση SAF (Sustainable Aviation Fuel). Σύμφωνα με το (European Parliament, 2023b) τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ, στο πλαίσιο του σχεδίου Fit for 55, θέτουν στόχους για τη χρήση SAF αντί για συμβατικά καύσιμα. Σύμφωνα με τους νέους κανόνες ο όρος SAF, που αφορά ουσιαστικά πράσινα καύσιμα, θα περιλαμβάνει συνθετικά καύσιμα και κάποια βιο-καύσιμα που παράγονται από διάφορες δραστηριότητες όπως οι αγροτικές ή η ανακύκλωση αερίων και πλαστικού. Τα SAFs περιλαμβάνουν και τη χρήση υδρογόνου.

Τα Κράτη-Μέλη λοιπόν υποχρεώνουν τα ευρωπαϊκά αεροδρόμια και τους παρόχους καυσίμων να θέτουν σε χρήση 2% πράσινα καύσιμα (SAFs) για το 2025, 6% για το 2030, 20% για το 2035, 34% για το 2040, 42% για το 2045 και 70% για το 2050.

Ένα νέο μοντέλο Boeing 787-10 χρησιμοποιείται σύμφωνα με (Ahlgren, 2023) και (Dale & Moos, 2023) από κάποιες εταιρείες αερομεταφορών για πτήσεις εξ ολοκλήρου με SAF,

Από (Mickeviciute, 2023) Ένα νέο Boeing 787-10 καταναλώνει 2,27 liters/100 km ανά επιβάτη = 0,599 us gallons/100 km ανά επιβάτη = 21,92 kWh/100km ανά επιβάτη = 0,2192 kWh/km ανά επιβάτη, έχοντας αξιοποιήσει το γεγονός ότι 1 liter = 0.2641US gallons και 1 gallon of aviation gasoline = 36,6 kWh. Συνεπώς, πρέπει να δημιουργήσουμε ένα νέο καύσιμο (fuel) στο LEAP στον κλάδο των αερομεταφορών με τα ποσοστά χρήσης που αναφέρονται παραπάνω και την παραπάνω υπολογισμένη ενεργειακή ένταση

Ναυσιπλοΐα

Από τη μελέτη για την πορεία της ναυσιπλοΐας μέχρι το 2050 (Maritime Cyprus, 2023) και την περιγραφή του Fit for 55 (Eagle.org, 2023) για την πορεία των καυσίμων Ανανεώσιμα Καύσιμα μη Βιολογικής Προέλευσης (RFNBOs - Renewable Fuels of Non-Biological Origin) φτιάχνουμε ένα νέο κλάδο καυσίμου στο LEAP. Η προβολή για το RFNBOs το 2050 είναι 100% σύμφωνα με το (Maritime Cyprus, 2023), αν ληφθούν όλα τα αισιόδοξα μέτρα. Χρησιμοποιούμε γραμμική παρεμβολή από το 0% το 2015 έως 100% το 2050 για το νέο καύσιμο RFNBOs και πάμε αναλογικά τα ορυκτά καύσιμα στο 0 με τον ίδιο τρόπο που κάναμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Μεταφορές Φορτίων

Φορτηγά

Δεν εφαρμόζουμε κάποια αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 1

Πλοία

Κάνουμε την ίδια αλλαγή που κάναμε στη ναυσιπλοΐα της προηγούμενης σελίδας.

Νοικοκυριά

Αξιοποιούμε βελτιστοποίηση στη χρήση ηλεκτρικών συσκευών έως το 2050 από A+ σε A++ και από το (Deloitte, 2023) αξιοποιούμε την πρόβλεψη για μείωση χρήσης του φυσικού αερίου στην ΕΕ στον τομέα των κτηρίων το 2030 -12.5%, το 2040 -70% και το 2050 -95% σε σχέση με το 2018. Αυτά αποτυπώνονται με κατάλληλη αλλαγή στο LEAP.

3.1.3.4 Σενάριο απαισιόδοξης πρόβλεψη για τα επιβατικά αυτοκίνητα

Επειδή υπάρχει ενδιαφέρον, θα αξιοποιήσουμε το (Krause κ.ά., 2020) για την απαισιόδοξη πρόβλεψη ενεργειακής κατανάλωσης των ΙΧ. για να αναλύσουμε περισσότερο αυτόν τον τομέα. Έτσι, λοιπόν το 2050 η ενεργειακή κατανάλωση των μικρών αυτοκινήτων προβλέπεται 109 Wh/km στο απαισιόδοξο σενάριο. Επίσης, για το 2050 η ενεργειακή κατανάλωση των μεγάλων αυτοκινήτων λαμβάνεται ως 135 Wh/km στο απαισιόδοξο σενάριο. Η μέση κατανάλωση υπολογίζεται ως 124,6 Wh/km.

Από (Politis κ.ά., 2021) το ποσοστό επιβατών ανά αυτοκίνητο είναι 1,46 άτομα.

Κατά αυτόν τον τρόπο δύναται να υπολογιστεί η ενεργειακή ένταση ως $124,6 / 1,46 = 85,34 \text{ Wh/επιβατο-χλμ} = 0,08534 \text{ kWh/επιβατο-χλμ}$ για το 2050.

Στο κεφάλαιο 4 θα συγκριθούν τα 2 σενάρια του LEAP με τα αποτελέσματα του ΕΣΕΚ και θα γίνει σχολιασμός προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

3.2 Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας - OSeMOSYS

Η ύπαρξη ανοιχτών, δωρεάν και εύκολα προσβάσιμων εργαλείων μοντελοποίησης ενεργειακών συστημάτων είναι περιορισμένη αλλά πολύ χρήσιμη. Συνήθως, η απαίτηση τέτοιων εργαλείων σε τεχνογνωσία και οικονομικό κόστος είναι πολύ μεγάλες.

Το Σύστημα Μοντελοποίησης Ενέργειας Ανοικτού Κώδικα ή Open Source Energy Modelling System (OSeMOSYS) είναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης της ενεργειακής στρατηγικής παραγωγής ενέργειας σε τοπικές, εθνικές ή και διεθνείς εφαρμογές. Σε σχέση με παρεμφερή καθιερωμένα συστήματα είναι πολύ πιο εύκολο στη χρήση και μάθηση. Επιπλέον το OSeMOSYS είναι πολύ εύκολα προσβάσιμο και με μηδενικό κόστος χρήσης. Όλα αυτά το κάνουν να αποκτά ιδιαίτερη αξία για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης, επειδή είναι εργαλείο ανοιχτού κώδικα είναι πολύ εύκολη η διεύρυνση των δυνατοτήτων του με τη βοήθεια της κοινότητας που το περιβάλλει.

Η ανάπτυξη του έγινε με την αρωγή πολλών ιδρυμάτων, όπως ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (IAEA) ή το Stockholm Environment Institute (SEI) που αναπτύσσει το LEAP κ.α. Η πρώτη έκδοση του λογισμικού OSeMOSYS έγινε προσβάσιμη το 2008, ενώ η πρώτη δημοσίευση που αποκρυσταλλώνει τον τρόπο σκέψης και τη δομή του διατέθηκε στο κοινό το 2011 (Howells κ.ά., 2011).

Το OSeMOSYS μπορεί να εκτιμήσει το μείγμα ενεργειακής προσφοράς(χωρητικότητα παραγωγής και διανομή ενέργειας) που ικανοποιεί τη ζήτηση της υπό μελέτη περίπτωσης, με παράμετρο την ελαχιστοποίηση του κόστους σε όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας. Μπορεί να καλύψει όλους τους τομείς της ενέργειας ή εάν είναι χρήσιμο συγκεκριμένους όπως αυτός της θερμότητας, της ηλεκτρικής ενέργειας ή των μεταφορών. Η ενεργειακή ζήτηση ικανοποιείται μέσα από τεχνολογίες που έχουν συγκεκριμένα τεχνο-οικονομικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, μπορούν να εισαχθούν στο OSeMOSYS περιβαλλοντικοί στόχοι, κάτι που θα γίνει στην παρούσα εργασία.

Το OSeMOSYS τεχνικά είναι ένα ντετερμινιστικό, μακράς πρόβλεψης και γραμμικής βελτιστοποίησης, πλαίσιο μοντελοποίησης. Επιπρόσθετα χρησιμοποιεί έναν πολύ εύελκτο ορισμό για τις τεχνολογίες και τα καύσιμα.

Η τεχνολογία αποδίδεται ως ένα μαύρο κουτί (Gardumi κ.ά., 2018) με συμπεριφορά και χαρακτηριστικά που παραμετροποιούνται από τον χρήστη. Για παράδειγμα μια

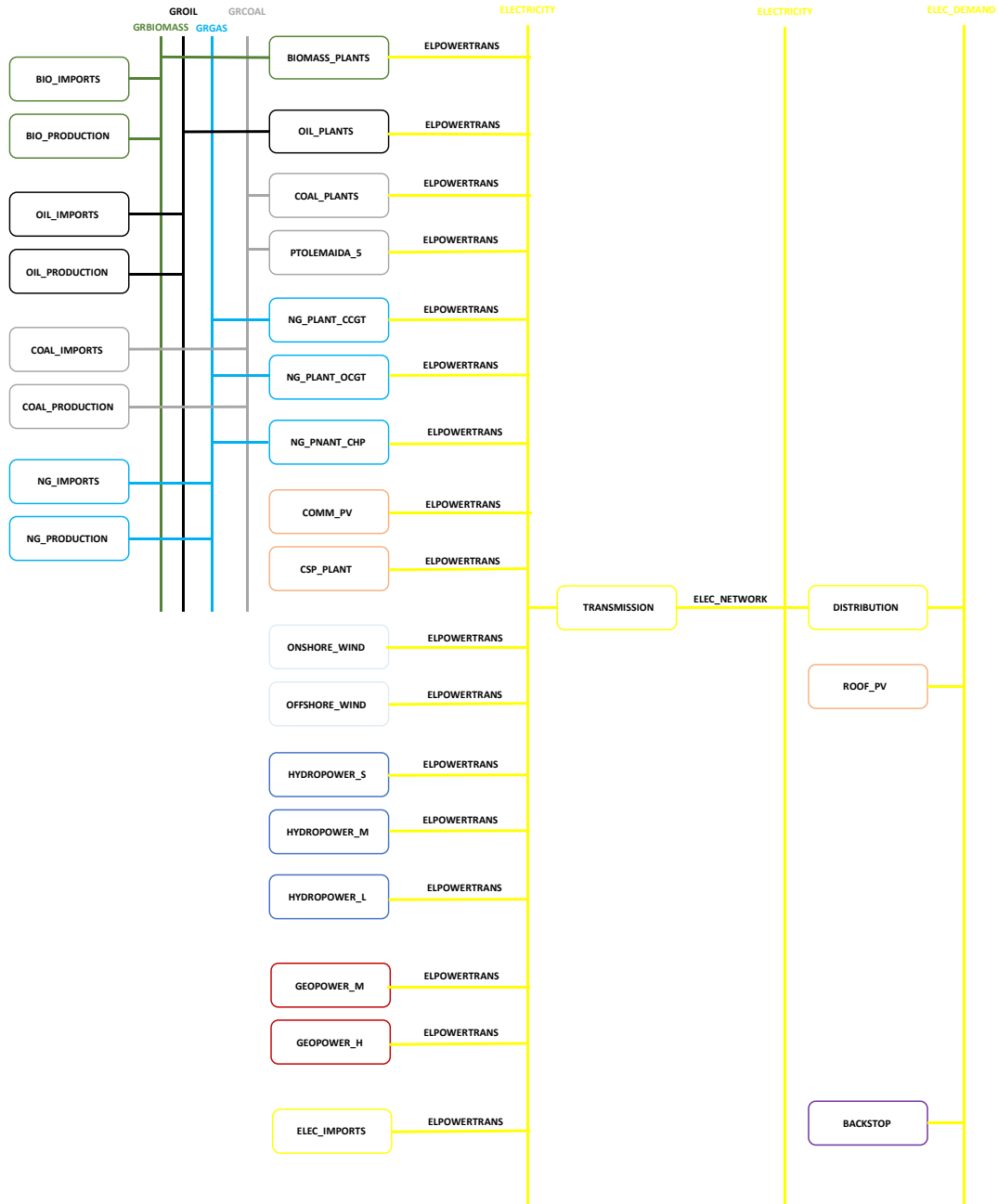
τεχνολογία μπορεί να είναι ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ως είσοδο και το μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμα προσδιορίζονται η αποδοτικότητα, τα διάφορα κόστη που ενδιαφέρουν. Ένα άλλο παράδειγμα τεχνολογίας μπορεί να είναι ένα ηλεκτρικό όχημα. Αυτό μπορεί να παίρνει ως είσοδο ηλεκτρισμό και να δίνει έξοδο τα επιβατο-χλμ..

Ένα καύσιμο στο OSeMOSYS είναι ένα οποιοδήποτε ενεργειακό διάνυσμα το οποίο εισρέει ή εκρέει από μια τεχνολογία. Παραδείγματα είναι το πετρέλαιο, ο ηλεκτρισμός, η θερμότητα ή και τα επιβατο-χλμ. Η τελική ενεργειακή ζήτηση θεωρείται επίσης ένα καύσιμο.

Οι τεχνολογίες και τα καύσιμα αποτυπώνονται στο Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς (Reference Energy System - RES). Το RES είναι μια σχηματική αποτύπωση της σύνδεσης των τεχνολογιών και των καυσίμων του μοντέλου με αρχή την προσφορά ενέργειας στα αριστερά και την τελική ζήτηση στα δεξιά.

Στο σχήμα 5 φαίνεται το RES που χρησιμοποιήθηκε στο (Karamaneas κ.ά., 2023). Το συγκεκριμένο θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα διπλωματική για τη μοντελοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής. Όσον αφορά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται το OSeMOSYS για να δουλέψει, του την παρέχουμε στο ένα από τα σενάρια που θα μελετήσουμε μέσω της εξόδου ηλεκτρικής ενέργειας που μοντελοποιείται από το LEAP.

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS



Σχήμα 5 Χρησιμοποιούμενο Reference Energy System (RES)

Ο πρώτος κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για το OSeMOSYS είναι γραμμένος στη γλώσσα GNU MathProg. Αυτή η γλώσσα υψηλού επιπέδου είναι εύκολα κατανοητή από χρήστες όλων των επιπέδων τεχνογνωσίας, έμπειρους στον γραμμικό προγραμματισμό ή μη. Παράλληλες επεκτάσεις του κώδικα έχουν γίνει σε GAMS και Python. Το εργαλείο ανοιχτού κώδικα GLPK χρησιμοποιείται για να βρεθεί η βέλτιστη λύση του μοντέλου και να εξαχθούν αριθμητικά δεδομένα

Το OSeMOSYS δεν χρειάζεται διεπαφή για να χρησιμοποιηθεί. Πάραυτα, έχουν αναπτυχθεί διεπαφές όπως το MoManI. Επίσης υπάρχει δια-λειτουργικότητα με το LEAP.

Κάτι πολύ σημαντικό είναι ότι το OSeMOSYS είναι φτιαγμένο ώστε μέσω της χρήσης του να δίνει μια διαίσθηση του πως θα εξελιχθούν τα πράγματα και όχι λεπτομερείς αριθμούς (Gardumi κ.ά., 2018). Αυτό συμβαίνει, όπως και με τα περισσότερα μοντέλα, διότι σε όλες τις ιστορικές περιόδους της ανθρωπότητας όπως φυσικά και σήμερα η γεωπολιτική, οικονομική και ενεργειακή πραγματικότητα παρουσιάζει τεράστιες διακυμάνσεις. Τέτοιες, όπως ο πόλεμος, αλλάζουν τόσο ριζικά τη διαθεσιμότητα, μεταφορά και χρήση των ενεργειακών πόρων που κανένα μοντέλο δεν θα μπορούσε να επιτύχει στην ακριβή περιγραφή της μελλοντικής κατάστασης με συγκεκριμένους αριθμούς.

3.2.1 Δομή OSeMOSYS

Στο OSeMOSYS, όπως συνήθως και σε κάθε πρόγραμμα γραμμικού προγραμματισμού ορίζονται τα sets, οι παράμετροι(parameters) και οι μεταβλητές(variables).

3.2.1.1 Sets

Τα sets ορίζουν τη γενική δομή ενός μοντέλου ανεξάρτητα από το κάθε σενάριο. Ορίζουν το χρονικό εύρος της μοντελοποίησης, την διαίρεση του χρόνου σε μέρη, τις τεχνολογίες, τα καύσιμα που θα μοντελοποιηθούν κ.α.

Τα Sets που αφορούν τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- **Χρόνος (Year)**

Πρόκειται για τη χρονική περιγραφή του μοντέλου. Περιλαμβάνει όλα τα έτη μοντελοποίησης.

- **Τεχνολογία (Technology)**

Περιλαμβάνει τα μέρη του μοντελοποιούμενου συστήματος που μετασχηματίζουν ένα ενεργειακό διάνυσμα (καύσιμο) σε κάτι διαφορετικό, το εισρέουν ή το εκρέουν. Ο αναλυτής μέσω του OSeMOSYS είναι ελεύθερος να χρησιμοποιήσει τον όρο

τεχνολογία με όποιον τρόπο τον εξυπηρετεί καλύτερα. Από ένα πραγματικό μεμονωμένο στοιχείο μέχρι συγκεντρωτικά στοιχεία ή ακόμα και «εικονικά» στοιχεία.

- **Χρονική Διαίρεση (Timeslice)**

Αντιπροσωπεύει τη χρονική διαίρεση κάθε έτους μοντελοποίησης. Η ετήσια ζήτηση χωρίζεται σε διάφορα κομμάτια μέσα στο έτος. Αυτά τα κομμάτια συχνά ομαδοποιούνται. Έτσι, η ετήσια ζήτηση μπορεί να χωριστεί σε εποχές όπου η ζήτηση παρουσιάζει ομοιότητες έως ημέρες ή και ώρες της ημέρας.

- **Καύσιμο (Fuel)**

Περιλαμβάνει κάθε ενεργειακό διάνυσμα που αλληλεπιδρά με τις τεχνολογίες είτε ως εισροή ή ως εκροή.

- **Εκπομπή (Emission)**

Περιλαμβάνει τις εκπομπές που δημιουργούνται από τη λειτουργία των τεχνολογιών. Παραδείγματα είναι οι ατμοσφαιρικές εκπομπές τύπου CO₂.

- **Περιοχή (Region)**

Ορίζει τις γεωγραφικές περιοχές που θα μοντελοποιηθούν. Σε κάθε περιοχή διασφαλίζεται ότι θα υπάρχει ενεργειακή ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης για όλους τους ενεργειακούς τομείς του συστήματος.

- **Εποχή (Season)**

Αποτυπώνει το πόσες εποχές (π.χ. καλοκαίρι ή χειμώνας όπως και μήνες) υπολογίζονται και με ποια σειρά.

- **DailyTimeBracket**

Αποτυπώνει το πόσα μέρη χωρίζεται η ημέρα (πχ. πρωινές ώρες, βραδινές ώρες) και με ποια σειρά ταξινομούνται.

3.2.1.2 Παράμετροι (Parameters)

Οι παράμετροι είναι τα αριθμητικά δεδομένα του μοντέλου. Σε αντίθεση με τα sets, οι παράμετροι αλλάζουν ανάλογα με το εξεταζόμενο σενάριο. Κάθε παράμετρος συσχετίζεται με ένα ή περισσότερα sets. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των παραμέτρων που αφορούν την παρούσα εργασία ανά κατηγορία:

- **Καθολικές Παράμετροι (Global Parameters)**

Περιλαμβάνει κάποιες γενικές παραμέτρους του σεναρίου όπως το επιτόκιο αναγωγής(DiscountRate) ή επιλογές χρονικών ιδιοτήτων όπως το YearSplit που ορίζει τη διάρκεια μιας μοντελοποιημένης χρονικής τομής, εκφρασμένη ως κλάσμα του έτους.

- **Ζήτηση (Demands)**

Περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με τη ζήτηση όπως είναι η ετήσια ζήτηση. Στην παρούσα εργασία θα μεταβάλλουμε τα αριθμητικά δεδομένα για αυτήν την κατηγορία για να δούμε πως ανταποκρίνεται η παραγωγή ενέργειας στο σενάριο ζήτησης του ΕΣΕΚ.

- **Επίδοση (Performance)**

Περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με τη χωρητικότητα και την απόδοση των τεχνολογιών όπως είναι ο ρυθμός εισόδου ή εξόδου των καυσίμων από μια τεχνολογία

- **Τεχνολογικά Κόστη (Technology Costs)**

Περιλαμβάνει παραμέτρους που αφορούν τα κόστη των τεχνολογιών

- **Περιορισμοί Χωρητικότητας (Capacity Constraints)**

Περιλαμβάνει παραμέτρους για τους περιορισμούς στη χωρητικότητα όπως μέγιστες και ελάχιστες χωρητικότητες για τεχνολογίες. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και οι περιορισμοί ετήσιας επένδυσης σε χωρητικότητα.

- **Περιορισμοί Δραστηριότητας (Activity Constraints)**

Περιλαμβάνει μέγιστες και ελάχιστες τιμές για την δραστηριότητα των τεχνολογιών.

- **Περιθώριο Αποθέματος (Reserve Margin)**

Περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με το περιθώριο αποθέματος ενέργειας και τις τεχνολογίες που συνεισφέρουν σε αυτό.

- **Εκπομπές (Emissions)**

Αφορά παραμέτρους που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Με την παράμετρο AnnualEmissionLimit[r,e,y] θα πειραματιστούμε μεταβάλλοντας τις τιμές που παίρνει για να δούμε τι αποτελέσματα επιφέρουν διαφορετικά έτη μηδενισμού των εκπομπών.

3.2.1.3 Μεταβλητές (Variables)

Οι μεταβλητές είναι τα αποτελέσματα του μοντέλου. Οι μεταβλητές επίσης ορίζονται σε σχέση με τα στοιχεία ενός ή περισσοτέρων sets. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των μεταβλητών που αφορούν την διπλωματική ανά κατηγορία:

- **Ζήτηση (Demands)**

Αφορούν τη ζήτηση για τα καύσιμα σε κάθε χρονικό τομέα.

- **Μεταβλητές Χωρητικότητας (Capacity Variables)**

Αποτυπώνουν την χωρητικότητα των τεχνολογιών σε κάποιο έτος

- **Μεταβλητές Δραστηριότητας (Activity Variables)**

Αφορούν τη δραστηριότητα των τεχνολογιών και τη χρήση των καυσίμων

- **Μεταβλητές Κόστους (Costing Variables)**

Αφορούν όλα τα οικονομικά στοιχεία (κόστη, επενδύσεις κ.α.) που αντιστοιχούν στις τεχνολογίες

- **Περιθώριο Αποθέματος (Reserve Margin)**

Αφορά τις μεταβλητές σχετικές με το περιθώριο αποθέματος ενέργειας και τις τεχνολογίες που συνεισφέρουν σε αυτό.

- **Εκπομπές (Emissions)**

Αφορά τις μεταβλητές που σχετίζονται με τις εκπομπές ανά έτος.

3.2.1.4 Εξισώσεις (Equations)

Ο κώδικας του OSeMOSYS χωρίζεται σε μπλοκ εξισώσεων σχετικές με μία αντικειμενική συνάρτηση και κάποιους περιορισμούς. Η δομή του OSeMOSYS του επιτρέπει να χρησιμοποιείται για μεγάλο πλήθος εφαρμογών μεγάλου μεγέθους ή μη, όπως και πολλαπλής συνθετότητας.

Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των εξισώσεων που αφορούν την παρούσα εργασία ανά κατηγορία:

- **Αντικειμενική Συνάρτηση (Objective function)**

Ουσιαστικά αποτελεί τον κύριο στόχο του μοντέλου. Αυτός είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, που αφορά όλον τον χρονικό ορίζοντα του μοντέλου.

- **Ρυθμός της Ζήτησης (Rate of Demand)**

Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ο όρος RateOfDemand από το προφίλ της ζήτησης και της ετήσιας ζήτησης. Υπολογίζεται για όλα τα καύσιμα και χρονικά εύρη.

- **Επάρκεια Χωρητικότητας A (Capacity Adequacy A)**

Συνοπτικά εκτιμά την ολική χωρητικότητα κάθε τεχνολογίας σε κάθε έτος, και διασφαλίζει ότι είναι αρκετή για να καλύψει τον ρυθμό της ολικής δραστηριότητας σε κάθε έτος και χρονικό εύρος.

- **Επάρκεια Χωρητικότητας B (Capacity Adequacy B)**

Εξασφαλίζει ότι υπάρχει επαρκής χωρητικότητα τεχνολογιών για την ικανοποίηση της μέσης ετήσιας ζήτησης.

- **Ενεργειακό Ισοζύγιο A (Energy Balance A)**

Διασφαλίζεται ότι η ζήτηση για κάθε είδος ικανοποιείται κάθε στιγμή.

- **Ενεργειακό Ισοζύγιο B (Energy Balance B)**

Διασφαλίζεται ότι η ζήτηση για κάθε είδος ικανοποιείται σε κάθε Έτος.

- **Λογιστική Τεχνολογία Παραγωγή/Χρήση**

Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενδιάμεσων μεταβλητών σχετικές με την παραγωγή και τη χρήση των τεχνολογιών.

- **Κόστη Κεφαλαίου (Capital Costs)**

Υπολογίζεται η συνολική προεξοφλημένη δαπάνη κεφαλαίου για κάθε τεχνολογία και κάθε έτος.

- **Υπολειμματική Αξία (Salvage Value)**

Υπολογίζεται το ποσοστό του αρχικού κόστους κεφαλαίου που δύναται να ανακτηθεί στο τέλος της λειτουργικής ζωής μιας τεχνολογίας.

- **Λειτουργικές Δαπάνες (Operating Costs)**

Υπολογίζεται το συνολικό μεταβλητό και πάγιο λειτουργικό κόστος για κάθε τεχνολογία και κάθε έτος.

- **Συνολικά Προεξοφλημένα Κόστη (Total Discounted Costs)**

Υπολογίζει το συνολικό προεξοφλημένο κόστος του συστήματος για όλη τη διάρκεια του μοντέλου προκειμένου να υπολογιστεί το TotalDiscountedCost. Αυτή είναι η μεταβλητή που ελαχιστοποιείται στην αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου.

- **Περιορισμοί συνολικής χωρητικότητας (Total Capacity Constraints)**

Διασφαλίζεται ότι η συνολική χωρητικότητα κάθε τεχνολογίας για κάθε έτος είναι μεγαλύτερη και μικρότερη από τις παραμέτρους που αφορούν την ολική ετήσια επένδυση σε χωρητικότητα(δίνονται από το χρήστη).

- **Περιορισμοί νέας χωρητικότητας (New Capacity Constraints)**

Διασφαλίζεται ότι η νέα χωρητικότητα κάθε τεχνολογίας για κάθε έτος είναι μεγαλύτερη και μικρότερη από τις παραμέτρους που αφορούν την ολική ετήσια επένδυση σε χωρητικότητα(δίνονται από το χρήστη).

- **Ετήσιοι Περιορισμοί Δραστηριότητας (Annual Activity Constraints)**

Διασφαλίζεται ότι η συνολική δραστηριότητα κάθε τεχνολογίας κατά τη διάρκεια κάθε έτους είναι μεγαλύτερη και μικρότερη από τις παραμέτρους που αφορούν την ολική ετήσια χρήση κάθε τεχνολογίας(δίνονται από το χρήστη).

- **Συνολικοί Περιορισμοί Δραστηριότητας (Total Activity Constraints)**

Διασφαλίζεται ότι η συνολική δραστηριότητα κάθε τεχνολογίας για ολόκληρη την περίοδο μοντέλου είναι μεγαλύτερη και μικρότερη από τις παραμέτρους που αφορούν την ολική χρήση κάθε τεχνολογίας κατά τη περίοδο διάρκειας του μοντέλου(δίνονται από το χρήστη).

- **Περιορισμοί Περιθωρίου Αποθέματος (Reserve Margin Constraints)**

Διασφαλίζει την εγκατάσταση επαρκούς εφεδρικής χωρητικότητας τεχνολογιών με σκοπό την διατήρηση του καθορισμένου από τον χρήστη Περιθώριο Αποθέματος(ReserveMargin).

- **Υπολογισμός Εκπομπών (Emissions Accounting)**

Υπολογίζει τις εκπομπές ,τόσο τις ετήσιες όσο και αυτές που αφορούν το χρονικό εύρος του μοντέλου, για κάθε τεχνολογία και για κάθε τύπο εκπομπής. Εάν υπάρχουν ποινές τις συνυπολογίζει και αυτές. Τέλος, διασφαλίζει ότι οι εκπομπές διατηρούνται μέσα στα καθορισμένα όρια που καθορίζονται για όλα τα χρονικά εύρη του μοντέλου.

3.2.2 Σενάρια

Με τη χρήση του OSeMOSYS έγινε μοντελοποίηση 2 σεναρίων που αντιστοιχούν στη προβολή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που κάναμε με το LEAP όπως και στην αντίστοιχη πρόβλεψη ηλεκτρικής ζήτησης από το ΕΣΕΚ. Για τα σενάρια αξιοποιήθηκε μια ήδη υπάρχουσα μοντελοποίηση των τομέων της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είχε γίνει σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023) και αποτυπώνεται στο σχήμα 5. Για τα 2 σενάρια του LEAP που υπολογίσαμε προηγουμένως, η διαφορά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμελητέα οπότε θα αρκεστούμε στην ανάλυση ενός μόνο σεναρίου για το LEAP, του σεναρίου 1.

Για τα 2, τελικώς, σενάρια που θα εξετάσουμε θα επικαιροποιήσουμε τη ζήτηση για κάθε χρόνο και θα τρέξουμε υπο-σενάρια που θα αφορούν τους περιορισμούς στις εκπομπές. Από το τρέξιμο του OSeMOSYS θα πάρουμε σε αρχεία csv τα αποτελέσματα τα οποία θα διαχειριστούμε μέσω του EXCEL προκειμένου να παραχθούν τα κατάλληλα διαγράμματα και να αξιολογηθούν και συγκριθούν μεταξύ τους όπως και με τις προβολές παραγωγής του ΕΣΕΚ. Με αυτόν τον τρόπο θα επιχειρηθεί να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν μπορούμε να θέσουμε στο OSeMOSYS μηδενικά όρια εκπομπών CO₂ πριν το 2030 (χρειάζεται δηλαδή να αφήσουμε ένα μικρό περιθώριο CO₂) καθώς σύμφωνα με το (Karamaneas κ.ά., 2023) έχει μοντελοποιηθεί η χρήση του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη στην Πτολεμαΐδα (Μονάδα V) μέχρι το 2030, σε μία προσπάθεια εξέτασης μίας άμεσης απεξάρτησης από τις εισαγωγές φυσικού αερίου, και πιο συγκεκριμένα αυτές από τη Ρωσία. Στο ΕΣΕΚ η προβολή για αυτή τη μονάδα είναι να πάψει να λειτουργεί μετά την 31^η Δεκεμβρίου 2028.

3.2.2.1 Σενάριο 1^ο

Ηλεκτρική Ζήτηση 1^ο Σεναρίου

Για το 1^ο σενάριο λαμβάνουμε την τελική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το LEAP για όλα τα έτη ως το 2050:

2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
183.82	188.75	218.27	261.71	294.31	312.86	323.99

Πίνακας 10 Ζήτηση 1^ο Σεναρίου (ενδεικτικά ανά 5 έτη) σε PJ

Αυτά τα δεδομένα τα εισάγουμε στο πεδίο SpecifiedAnnualDemand του OSeMOSYS, και πιο συγκεκριμένα στο ELEC_DEMAND, το καύσιμο που αναπαριστά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το σύνολο του ενεργειακού τομέα της χώρας.

Μεταβολή Εκπομπών 1^ο Σεναρίου

Εν συνεχεία μεταβάλλουμε την παράμετρο AnnualEmissionLimit για να μοντελοποιήσουμε διάφορες περιπτώσεις έτους παύσης των εκπομπών CO₂. Όπως έχει σημειωθεί και προηγουμένως, λόγω της λιγνιτικής μονάδας V στην Πτολεμαΐδα δεν μπορούμε να μηδενίσουμε τις εκπομπές πριν το 2030. Στις περιπτώσεις που θα μοντελοποιήσουμε διακοπή των εκπομπών πριν το 2030 θα θέσουμε έναν πολύ μικρό επίπεδο εκπομπών της τάξης των 2Mt CO₂, ειδικά το μοντέλο μας θα αδυνατεί να βρει λύση.

Τα υπό-σενάρια έτους παύσης των εκπομπών CO₂ που θα τρέξουμε είναι για τις χρονιές 2025*², 2028*, 2031, 2033 και 2035.

² * Σημαίνει ότι υπάρχει ένα μικρό επίπεδο εκπομπών από το έτος παύσης έως το 2030

3.2.2.2 Σενάριο 2^ο

Ηλεκτρική Ζήτηση 2^ο Σεναρίου

Για το 2^ο σενάριο λαμβάνουμε την τελική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το ΕΣΕΚ για όλα τα έτη ως το 2050:

2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
177.22	192.29	205.36	227.88	249.24	260.50	270.17

Πίνακας 11 Ζήτηση 2^ο Σεναρίου (ενδεικτικά ανά 5 έτη) σε PJ

Αυτά τα δεδομένα τα εισάγουμε στο πεδίο SpecifiedAnnualDemand του OSeMOSYS. και πιο συγκεκριμένα στο ELEC_DEMAND.

Μεταβολή Εκπομπών 2^ο Σεναρίου

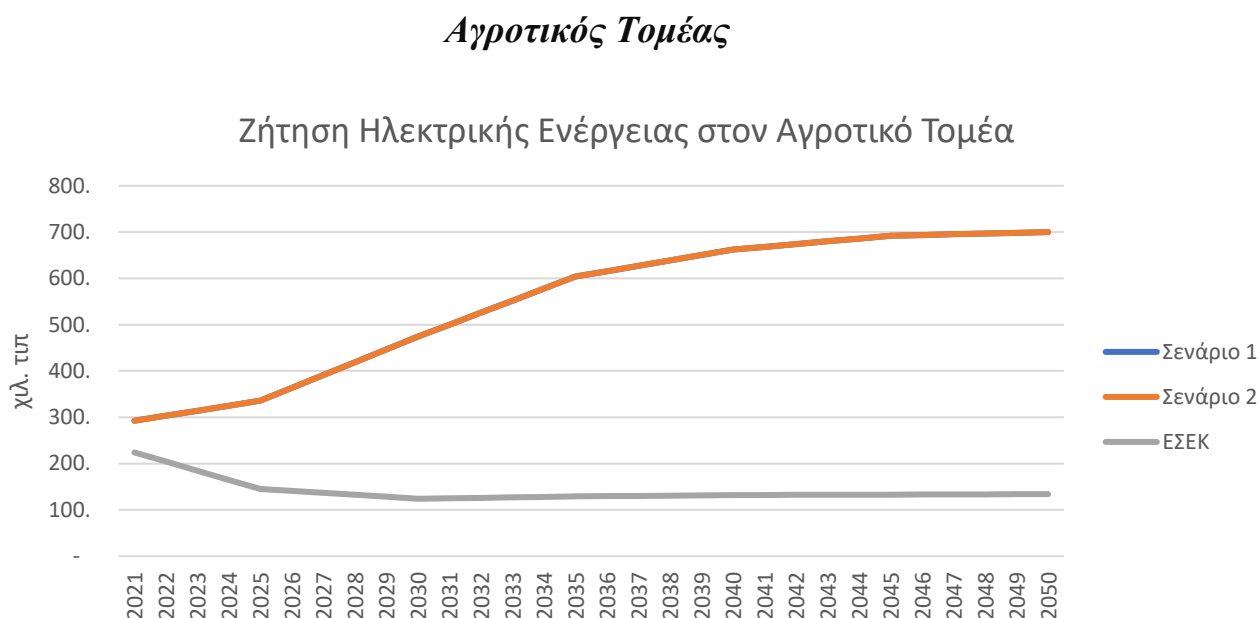
Εν συνεχεία μεταβάλλουμε την παράμετρο AnnualEmissionLimit για να μοντελοποιήσουμε διάφορες περιπτώσεις έτους παύσης των εκπομπών CO₂ όπως ακριβώς κάναμε προηγουμένως.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα Μοντέλων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μοντέλων ζήτησης και παραγωγής που τρέξαμε με παρουσίαση διαγραμμάτων, σχολιασμό και συγκρίσεις μεταξύ τους καθώς και με το ΕΣΕΚ.

4.1 Αποτελέσματα Εργαλείου LEAP

4.1.1 Εξηλεκτρισμός



Σχήμα 6 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Αγροτικό Τομέα

Στον αγροτικό τομέα, ενώ το 2021 υπάρχει ένας κοινός τόπος μεταξύ σεναρίων και ΕΣΕΚ, όσο περνάνε τα χρόνια υπάρχει απόκλιση. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχουμε μοντελοποιήσει εξοικονόμηση ενέργειας στον ηλεκτρισμό για αυτόν τον τομέα. Τα 2 σεναρία μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν διαφορές.

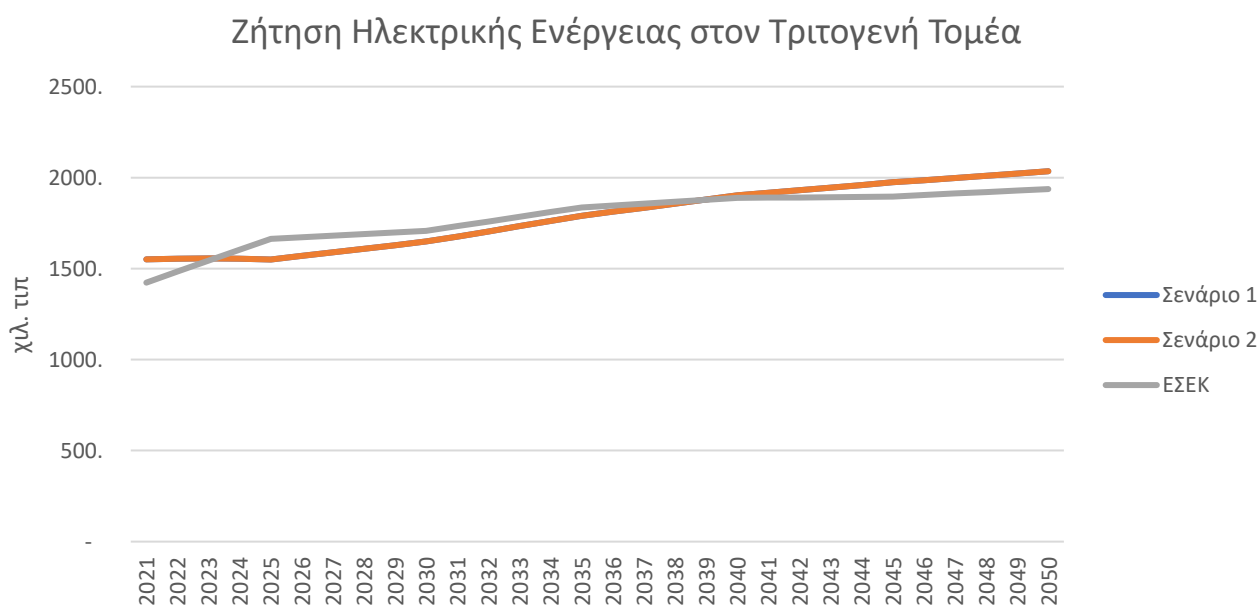
Βιομηχανικός Τομέας



Σχήμα 7 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Βιομηχανικό Τομέα

Στη βιομηχανία έχουμε σύγκλιση έως το 2030 μεταξύ των 2 σεναρίων και του ΕΣΕΚ αλλά μετά παρουσιάζεται κάποια απόκλιση. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχουμε μοντελοποιήσει εξοικονόμηση ενέργειας στον ηλεκτρισμό για αυτόν τον τομέα μέχρι το 2050. Τα 2 σεναρία μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν διαφορές.

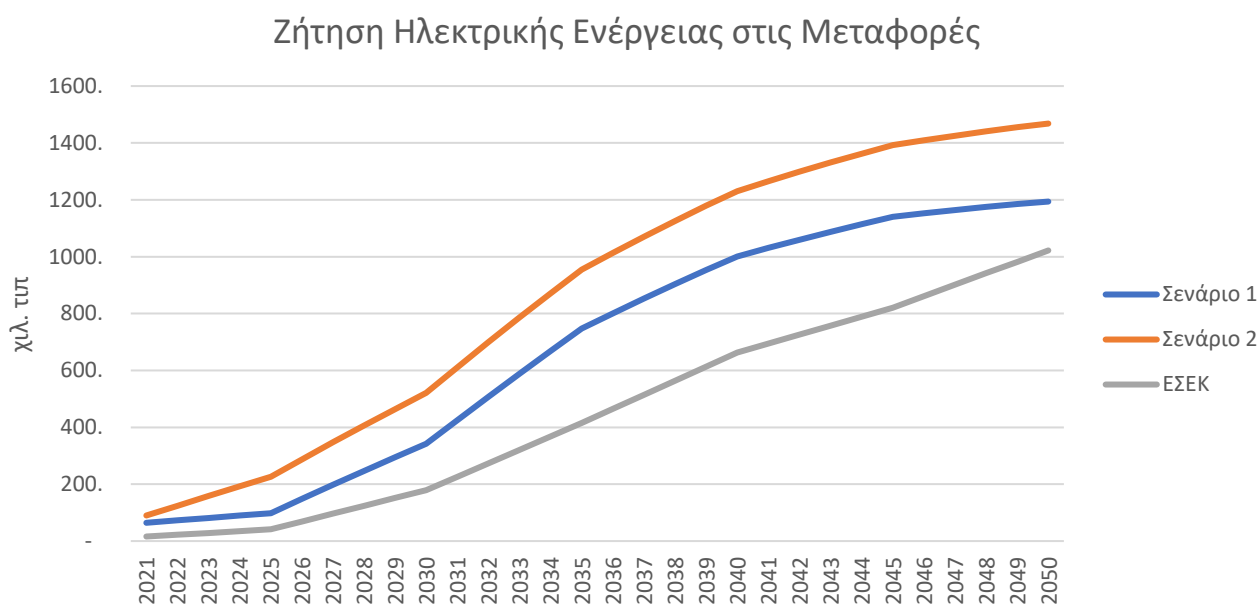
Τριτογενής Τομέας



Σχήμα 8 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον Τριτογενή Τομέα

Εδώ βλέπουμε σύγκλιση του τομέα των υπηρεσιών μεταξύ ΕΣΕΚ και σεναρίων καθόλα τα χρόνια μοντελοποίησης. Το 2050 έχουμε γύρω στα 2.000 χιλ. τιπ ζήτηση ηλεκτρισμού στο σενάριο και 1.937 χιλ. τιπ στο ΕΣΕΚ. Τα 2 σενάρια μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν διαφορές.

Τομέας των Μεταφορών



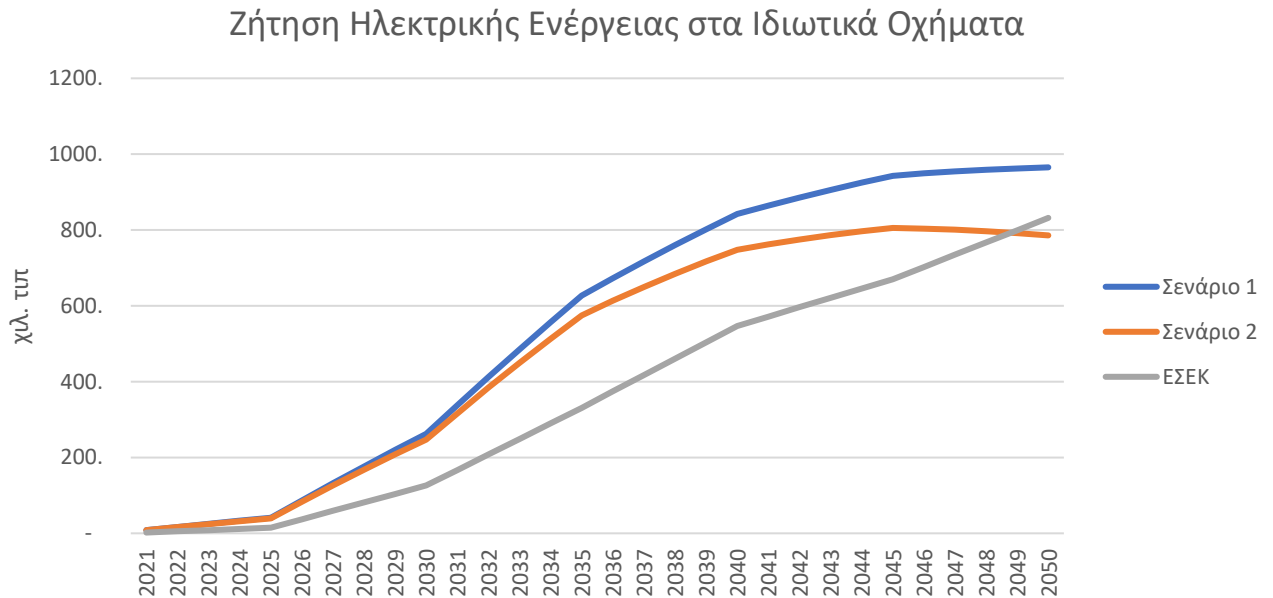
Σχήμα 9 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στις Μεταφορές

Στις μεταφορές, η διαφορά μεταξύ των 2 σεναρίων οφείλεται στη χρήση RFNBOs στο 2^ο σενάριο για τις θαλάσσιες μεταφορές τόσο των επιβατών όσο και των φορτίων. Έτσι υπάρχει μεγαλύτερο μερίδιο ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο 2. Σημειώνεται ότι το καύσιμο RFNBOs μοντελοποιήθηκε στο LEAP ως ηλεκτρισμός μιας και αυτά τα καύσιμα παράγονται κυρίως από τη χρήση ηλεκτρισμού. (European Commission, 2022c)

Η διαφορά μεταξύ των σεναρίων και του ΕΣΕΚ οφείλεται κυρίως στην πρόβλεψη για τα ιδιωτικά οχήματα. Στο επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε ότι αν και το σενάριο 2 έχει βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για αυτά τα οχήματα αποκλίνει από το ΕΣΕΚ από το 2025 και μετά στις τάξεις των 200 χιλ. τιπ μέχρι το 2050 που υπάρχει σύγκλιση. Αυτό συμβαίνει πιθανότατα είτε λόγω διαφορετικής προσέγγισης από το ΕΣΕΚ για τα

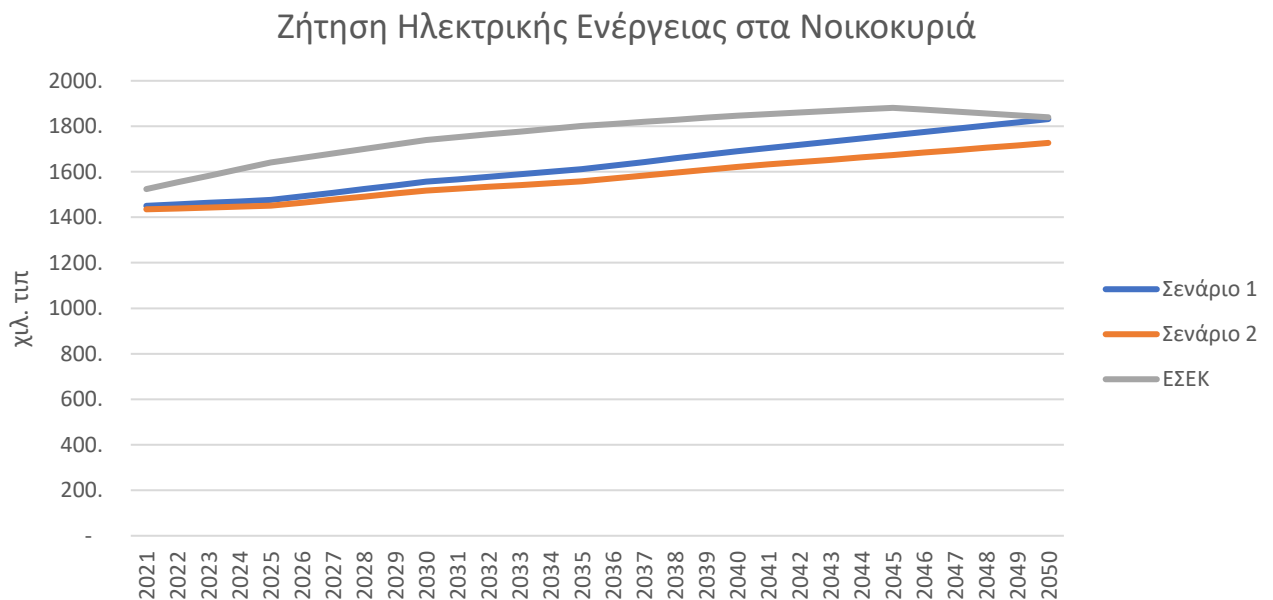
Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

επιβατο-χλμ ή λόγω διαφορετικής πρόβλεψης για την ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέσα στον προβαλλόμενο χρόνο.



Σχήμα 10 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Ιδιωτικά Οχήματα

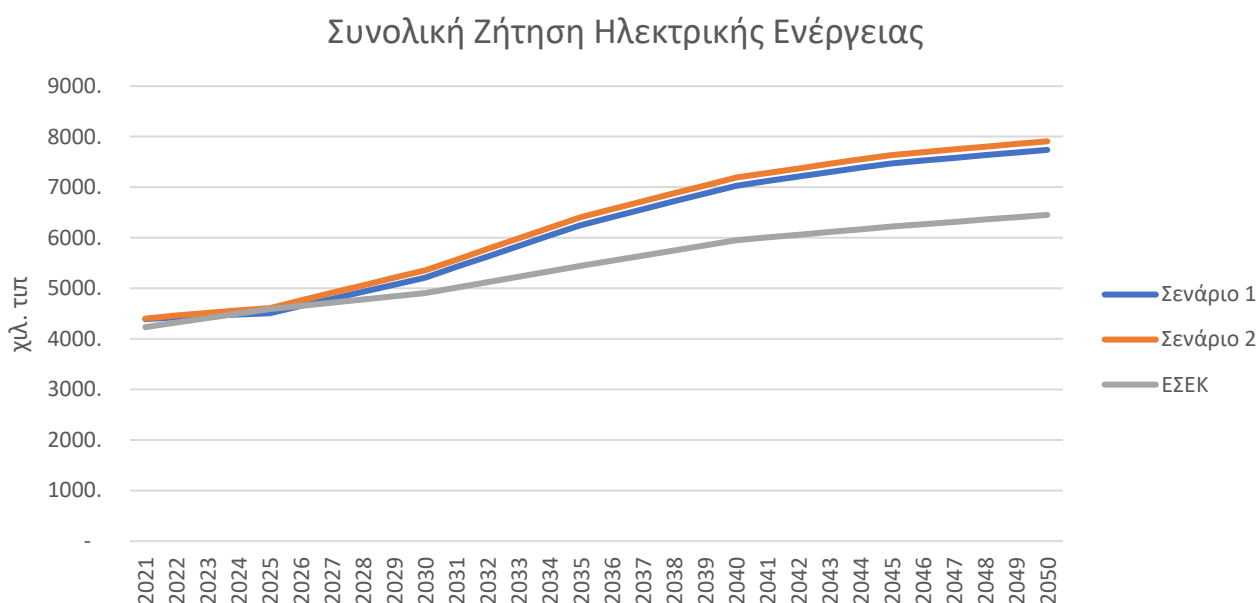
Τομέας των Νοικοκυριών



Σχήμα 11 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Νοικοκυριά

Η διαφορά μεταξύ των 2 σεναρίων για τα νοικοκυριά οφείλεται στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ηλεκτρικών συσκευών σιγά σιγά μέχρι το 2050 για το σενάριο 2. Ίσως το ΕΣΕΚ είναι λιγότερο φιλόδοξο σε αυτόν τον τομέα. Πάραυτα, το 2050 βλέπουμε σύγκλιση μεταξύ σεναρίου 1 και ΕΣΕΚ. Αυτό συμβαίνει ενδεχομένως με την πρόβλεψη του ΕΣΕΚ για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας τα τελευταία προβαλλόμενα χρόνια, με τη διείσδυση ενεργειακά αποδοτικότερων ηλεκτρικών συσκευών και αντλιών θερμότητας που θα κάνουν την συνολική κατανάλωση να μειωθεί παρά την αύξηση του πλήθους των νοικοκυριών.

Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

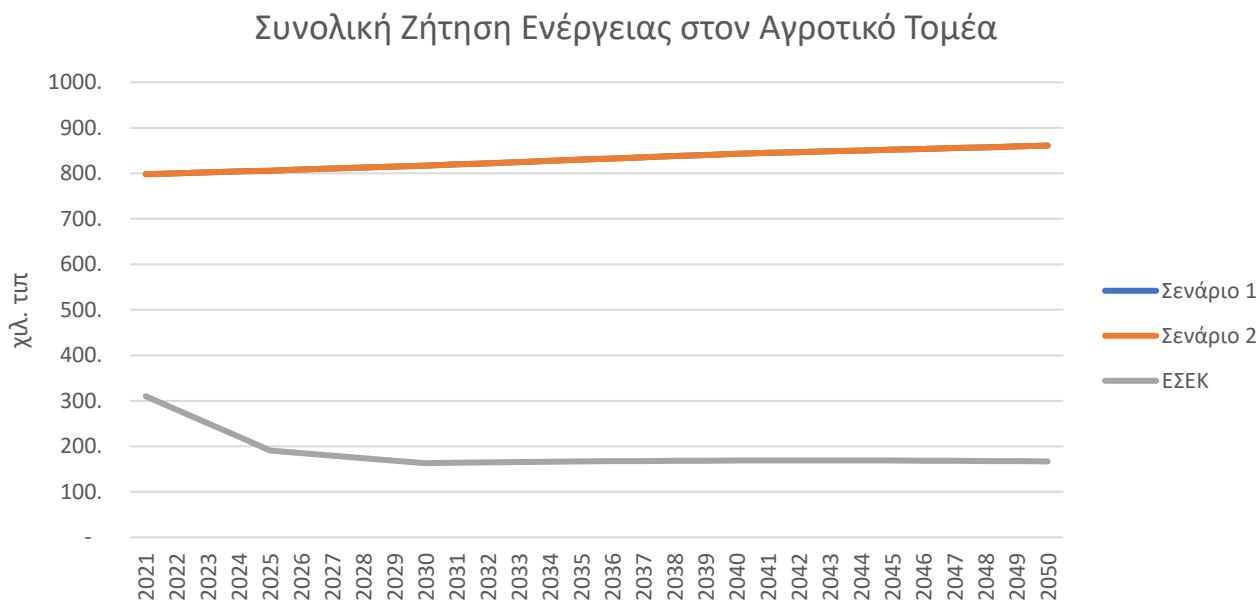


Σχήμα 12 Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Όσον αφορά τη συνολική ζήτηση ενέργειας, έχουμε κοινή πορεία για τα 2 σεναρία με μικρές διαφορές σωρευτικά. Συγκεκριμένα, η αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του σεναρίου 2 στις μεταφορές αντισταθμίζεται με την αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του σεναρίου 1 στα νοικοκυριά. Όσον αφορά την συνολική απόκλιση σε σχέση με το ΕΣΕΚ αυτή οφείλεται κυρίως στη μη μοντελοποίηση μέτρων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας για τον αγροτικό τομέα και τη βιομηχανία και στη μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις μεταφορές για τα 2 σεναρία.

4.1.2 Ολική Κατανάλωση Ενέργειας

Αγροτικός Τομέας

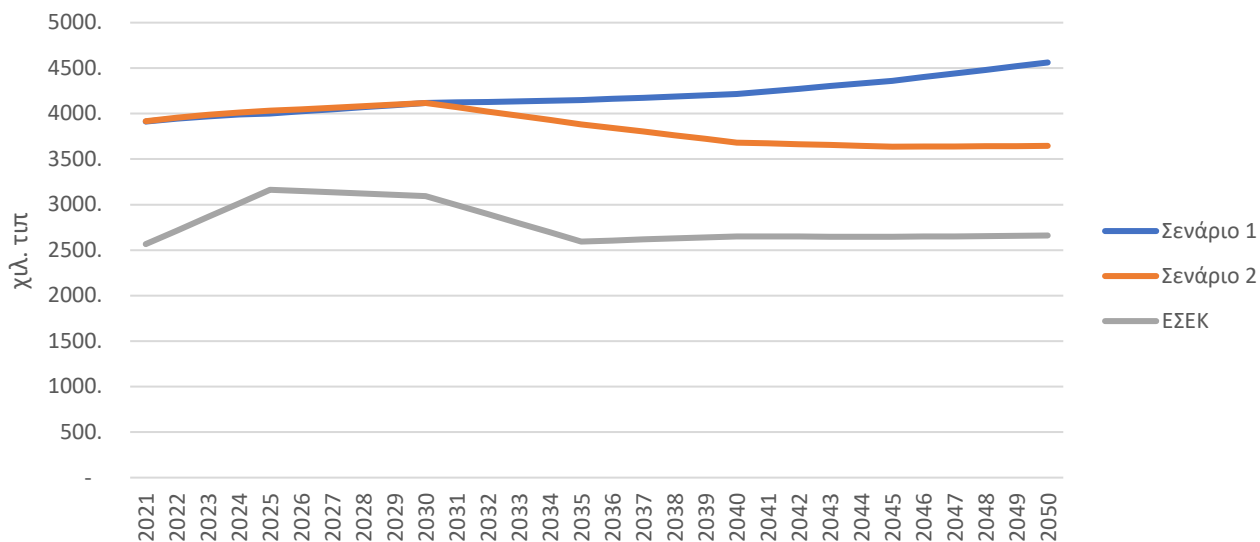


Σχήμα 13 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Αγροτικό Τομέα

Εδώ όπως και στην ανάλυση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει απόκλιση καθώς δεν έχουμε λάβει μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας στον αγροτικό τομέα και στα 2 σενάρια. Τα 2 σενάρια μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις. Επίσης παρατηρούμε διαφορετική αφετηρία για το 2021. Μένει να δούμε μελλοντικά αν πράγματι η πρόβλεψη του ΕΣΕΚ θα επαληθευθεί.

Βιομηχανικός Τομέας

Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στη Βιομηχανία

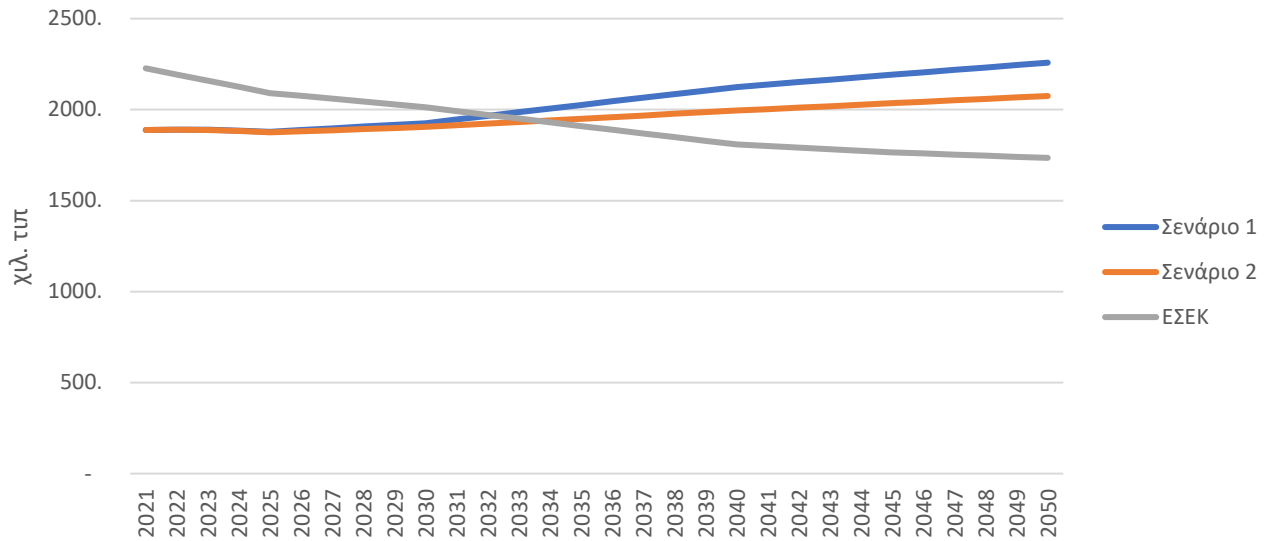


Σχήμα 14 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Βιομηχανικό Τομέα

Στον βιομηχανικό τομέα, η απόκλιση που παρατηρείται μεταξύ των 2 σεναρίων οφείλεται στη διαφορετική προσέγγιση όσον αφορά τη μείωση της χρήσης του φυσικού αερίου. Η διαφορά μεταξύ του σεναρίου 2 και του ΕΣΕΚ οφείλεται στη μη μοντελοποίηση εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτόν τον τομέα. Πάντως ποιοτικά βλέπουμε κοινή συμπεριφορά για το σενάριο 2 και το ΕΣΕΚ, με αύξηση της κατανάλωσης μέχρι το 2030, μείωση μέχρι το 2035 περίπου και μετά σταθεροποίηση ως το 2050.

Τριτογενής Τομέας

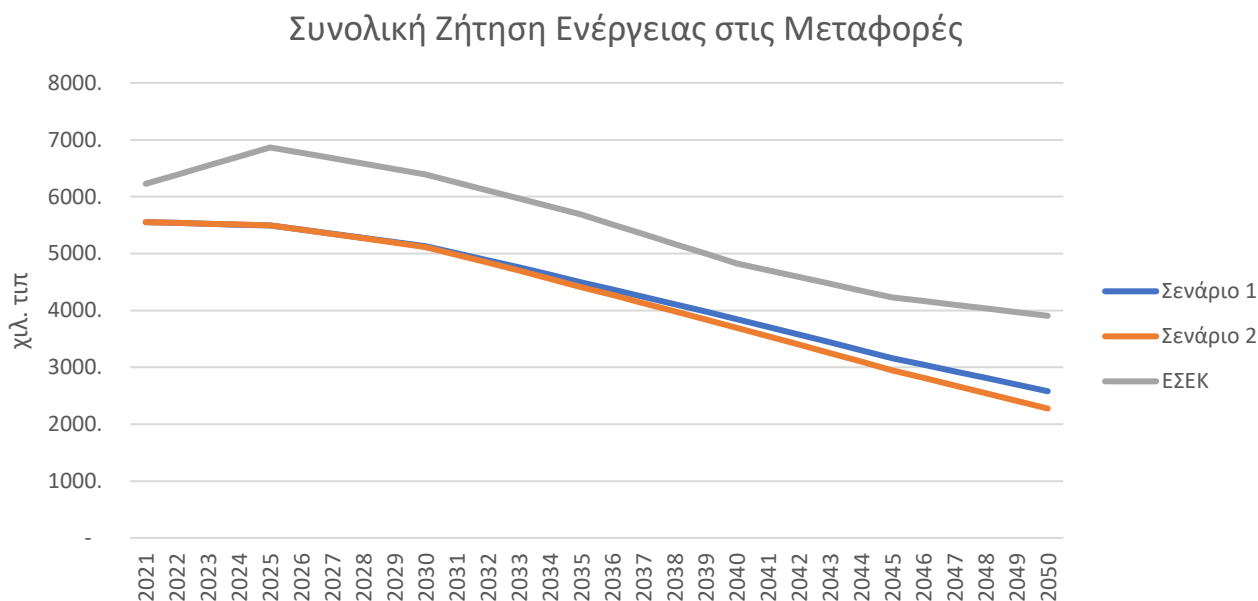
Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Τριτογενή Τομέα



Σχήμα 15 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στον Τριτογενή Τομέα

Στον τριτογενή τομέα η διαφορά μεταξύ των 2 σεναρίων οφείλεται στη μείωση χρήσης φυσικού αερίου για το σενάριο 2. Μεταξύ του ΕΣΕΚ παρατηρείται μια διαφορά μετά το 2035 και οφείλεται πιθανότατα σε αυξημένη εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτόν τον τομέα σε σχέση με το μοντέλο μας.

Τομέας των Μεταφορών

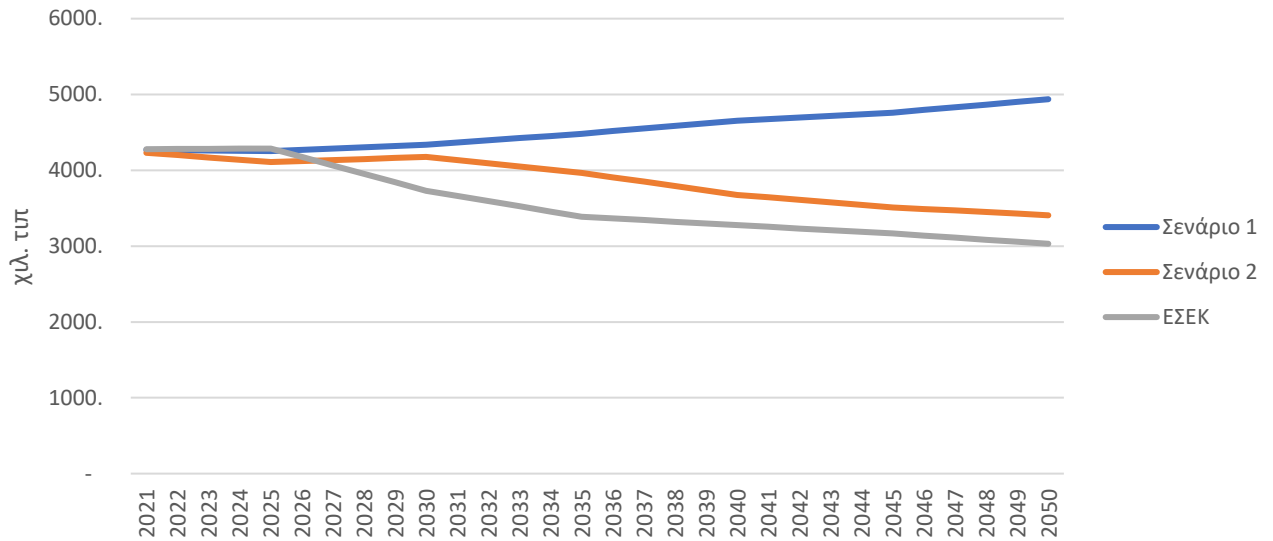


Σχήμα 16 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στις Μεταφορές

Στον τομέα των μεταφορών στο σενάριο 2 σε σχέση με το πρώτο παρατηρούμε μια μικρή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην περισσότερο αισιόδοξη πρόβλεψη για την ενεργειακή κατανάλωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων όπως και τη μετάβαση σε SAFs στον τομέα των αεροπορικών μεταφορών καθώς και την μετάβαση σε RFNBOs για τις ακτοπλοϊκές μεταφορές που μοντελοποιήθηκαν στο σενάριο 2. Μεταξύ των σεναρίων και του ΕΣΕΚ παρατηρείται κοινή τάση μείωσης όμως υπάρχει διαφοροποίηση που οφείλεται στο γεγονός ότι για τον υπολογισμό των αερομεταφορών και της ναυσιπλοΐας στην εργασία εισαγάγαμε δεδομένα που αφορούν όσες μεταφορές γίνονται πλήρως εντός Ελλάδας ενώ το ΕΣΕΚ λαμβάνει υπόψη και τις διεθνείς μεταφορές.

Τομέας των Νοικοκυριών

Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στα Νοικοκυριά

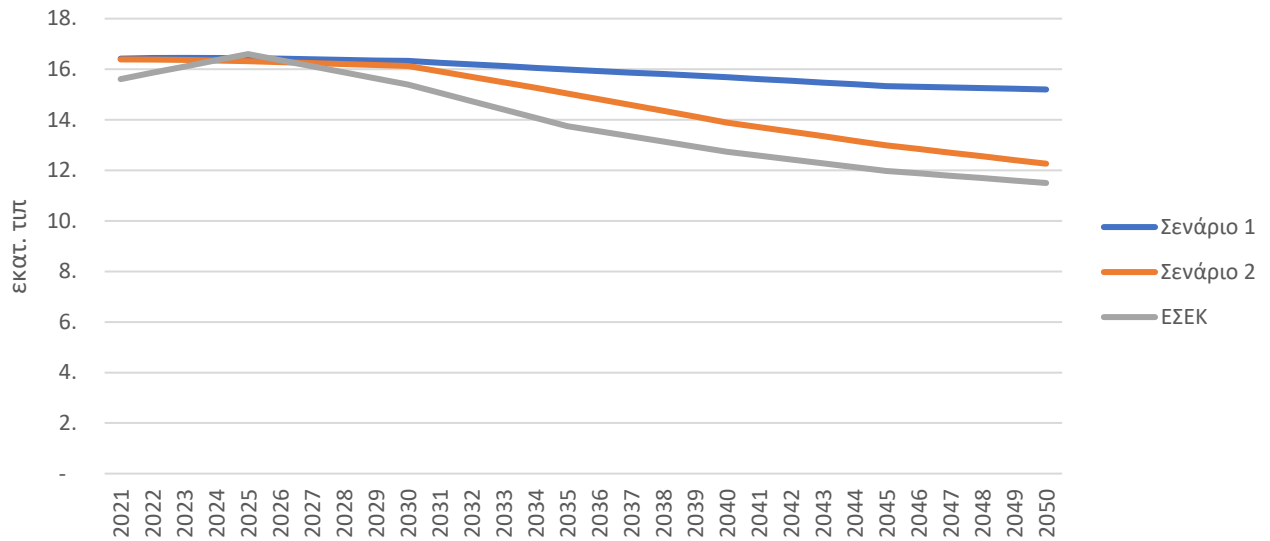


Σχήμα 17 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας στα Νοικοκυριά

Στον οικιακό τομέα υπάρχει αύξηση στη ζήτηση ενέργειας για το Σενάριο 1 σε αντίθεση με τη μείωση που προβλέπεται στο ΕΣΕΚ και το Σενάριο 2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο Σενάριο 1 δεν έχουμε μοντελοποιήσει τη βελτιστοποίηση στην κατανάλωσης ενέργειας των συσκευών στα νοικοκυριά όπως και τη μείωση χρήσης του φυσικού αερίου. Και τα 2 αυτά μέτρα τα μοντελοποιήσαμε στο σενάριο 2 το οποίο ακολουθεί αρκετά πιο ικανοποιητικά το ΕΣΕΚ έως το 2050.

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας

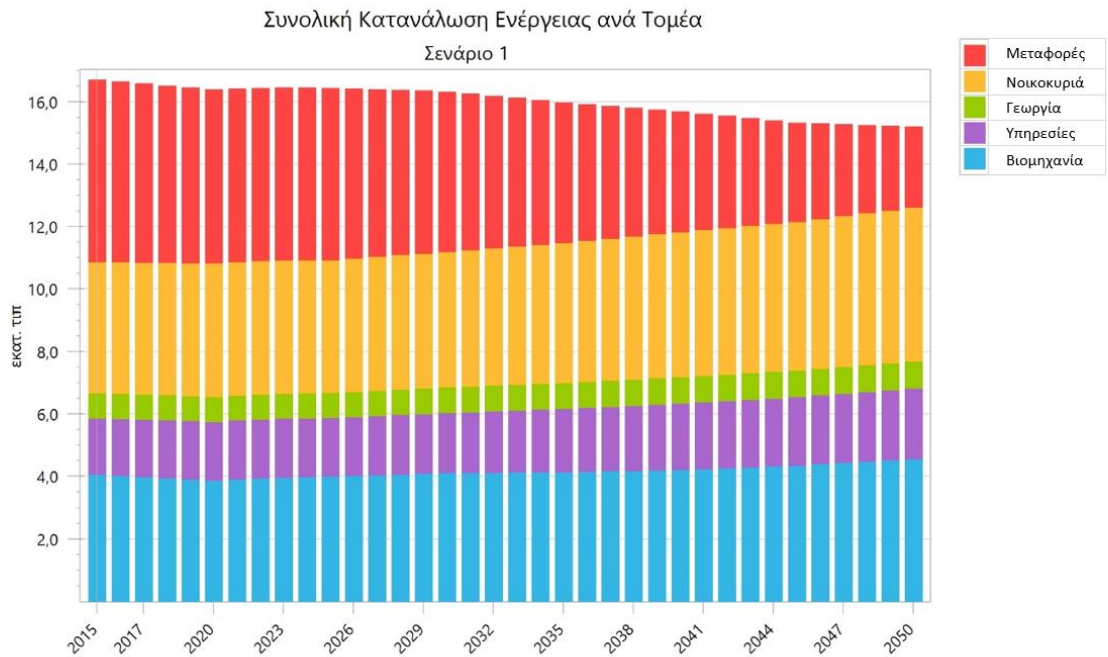
Συνολική Ζήτηση Ενέργειας



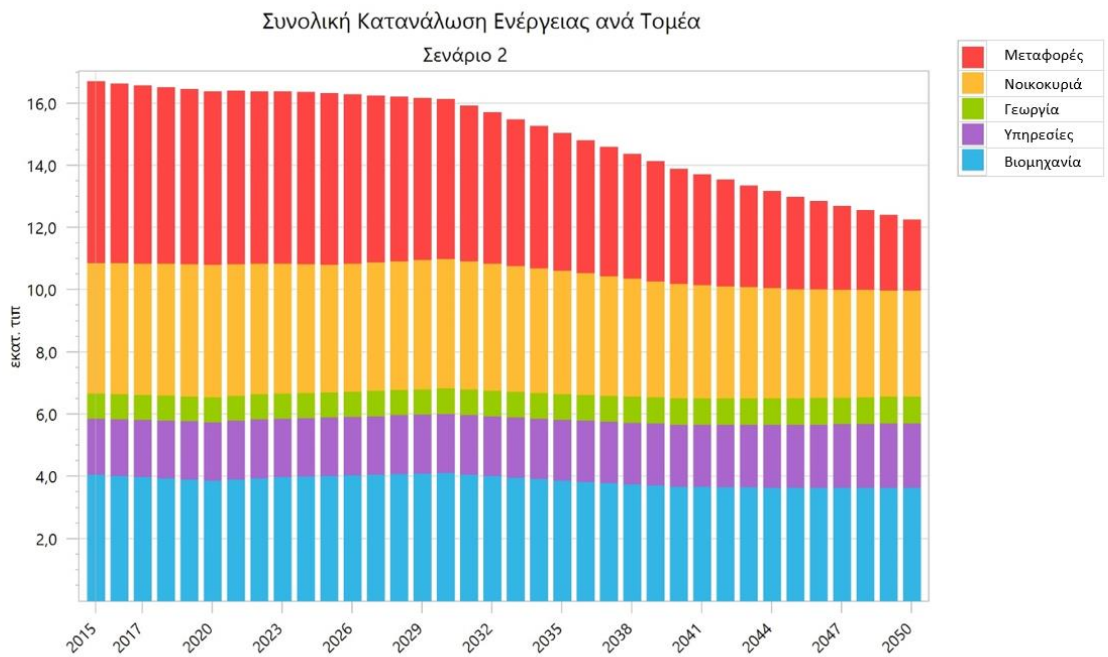
Σχήμα 18 Συνολική Ζήτηση Ενέργειας

Στη συνολική ζήτηση ενέργειας το σενάριο 2 ακολουθεί ικανοποιητικά το ΕΣΕΚ. Η απόκλιση του σε σχέση με το σενάριο 1 οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι στο σενάριο 2 πήραμε μέτρα βελτιωμένης απόδοσης των ηλεκτρικών συσκευών στα νοικοκυριά, μοντελοποιήσαμε τη μείωση χρήσης φυσικού αερίου προς τον αποδοτικότερο ηλεκτρισμό καθώς και με τη βελτιωμένη απόδοση στον τομέα των μεταφορών με την αλλαγή των χρησιμοποιούμενων ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό ή σε ανανεώσιμα καύσιμα όπου δεν υπάρχει εξηλεκτρισμός. Γενικά πάντως ο εξηλεκτρισμός σε όλους τους τομείς οδηγεί σε λιγότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας όταν έχουμε μείγμα που κυριαρχούν οι ΑΠΕ.

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα



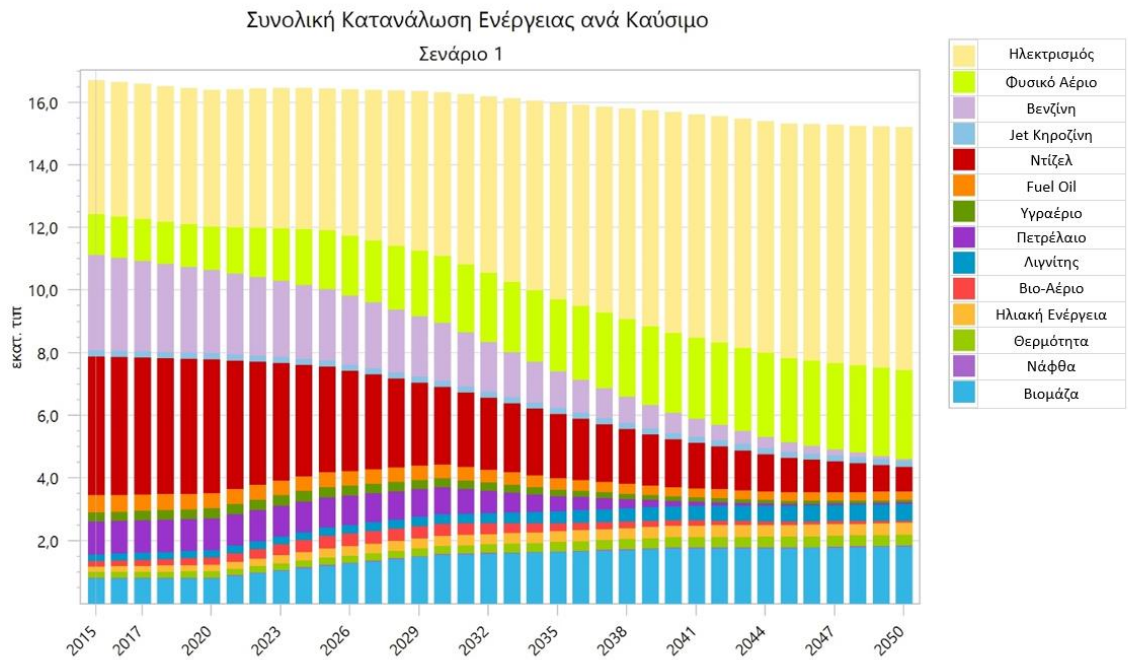
Σχήμα 19 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα για το Σενάριο 1



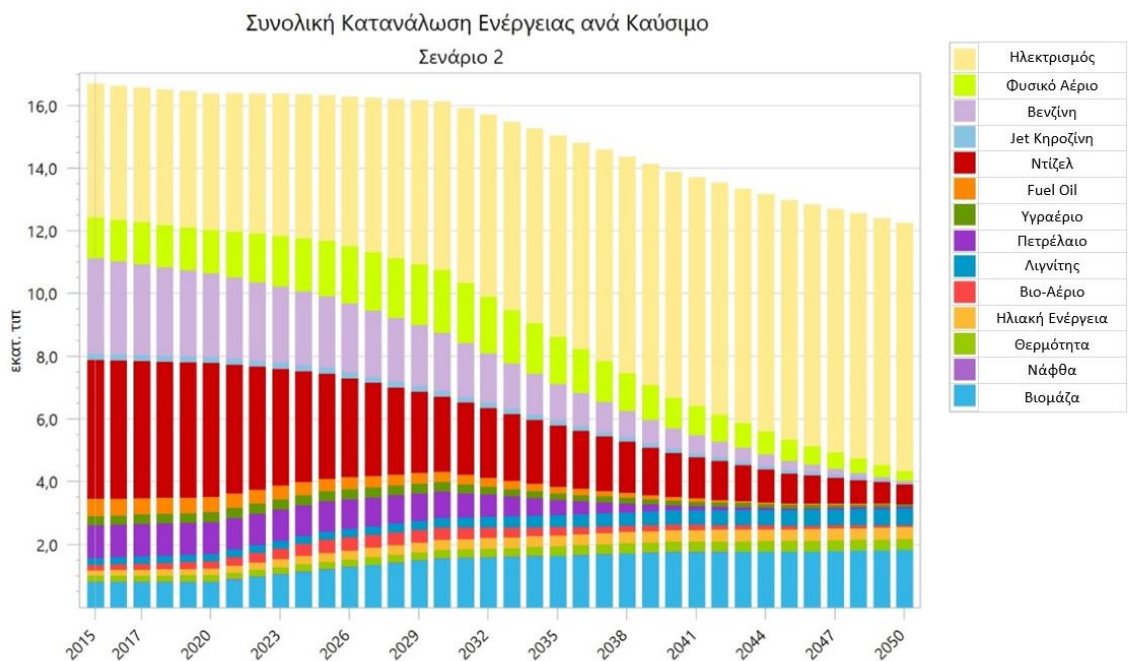
Σχήμα 20 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Τομέα για το Σενάριο 2

Παρατηρούμε ότι η κύρια διαφορά μεταβολής της ζήτησης στο σενάριο 2 σε σχέση με το 1 είναι τα νοικοκυριά και η βιομηχανία.

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο



Σχήμα 21 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο για το Σενάριο 1

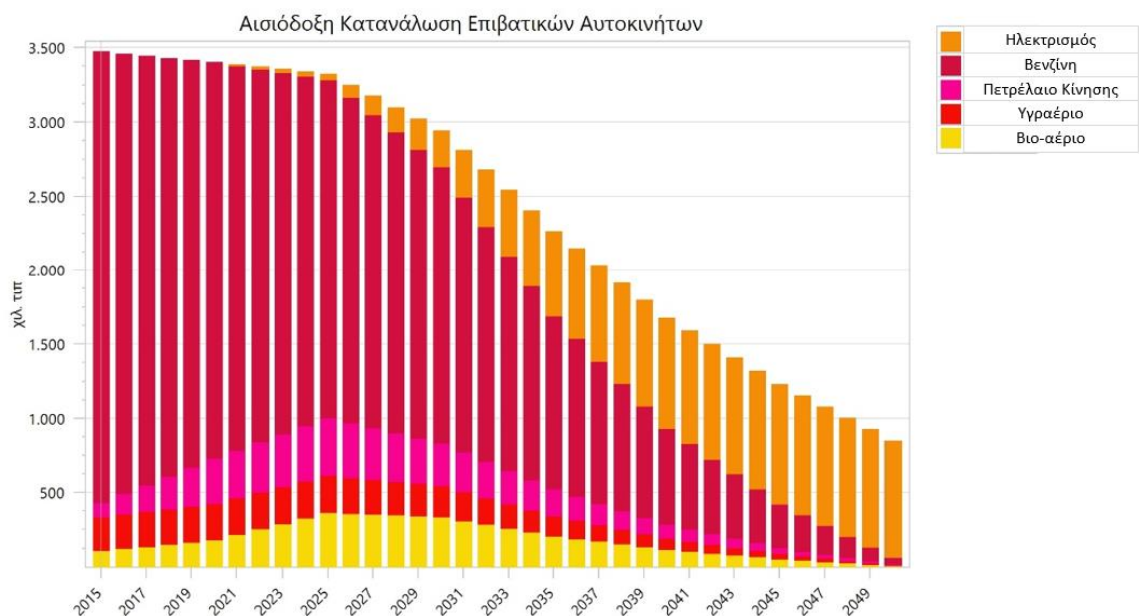


Σχήμα 22 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο για το Σενάριο 2

Παρατηρούμε ότι το 2050 ο ηλεκτρισμός στο σενάριο 1 κατέχει περίπου το 50% της κατανάλωσης. Αυτό συμβαδίζει με τις προβολές του ΕΣΕΚ. Στο σενάριο 2 ο ηλεκτρισμός κατέχει περίπου το 65% του συνόλου.

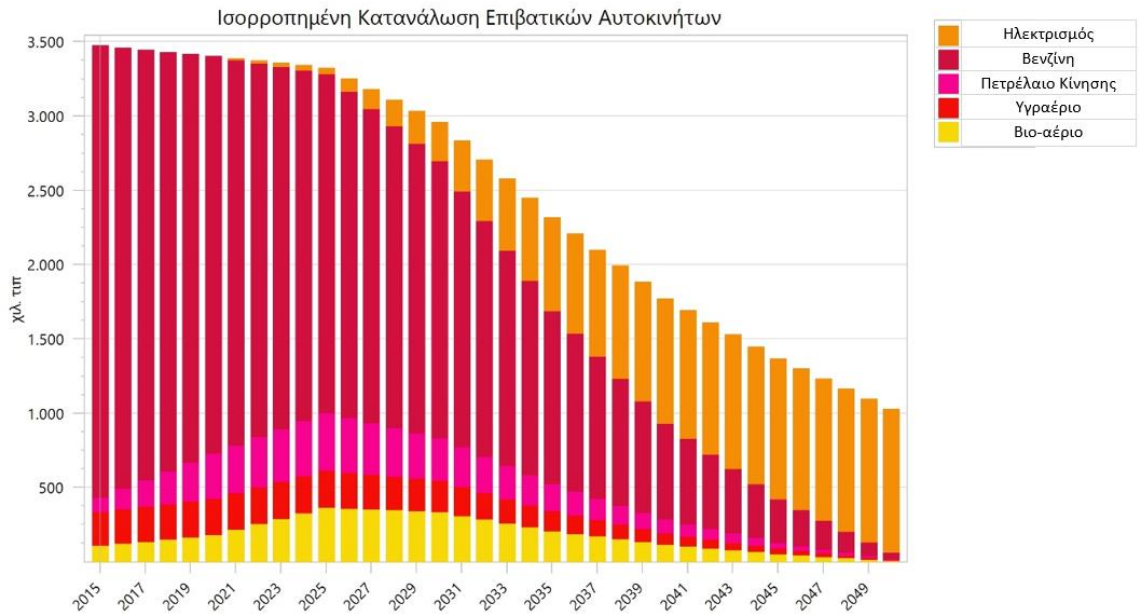
4.1.3 Σύγκριση αισιόδοξης, ισορροπημένης και απαισιόδοξης πρόβλεψης για τα επιβατικά αυτοκίνητα

Συγκρίνουμε με βάση το (Krause κ.ά., 2020) και τους υπολογισμούς που κάναμε στο κεφάλαιο 3, τρία σενάρια για την κατανάλωση των επιβατικών αυτοκινήτων έως το 2050 για να δούμε κατά πόσο επηρεάζουν την ολική τελική κατανάλωση ενέργειας.

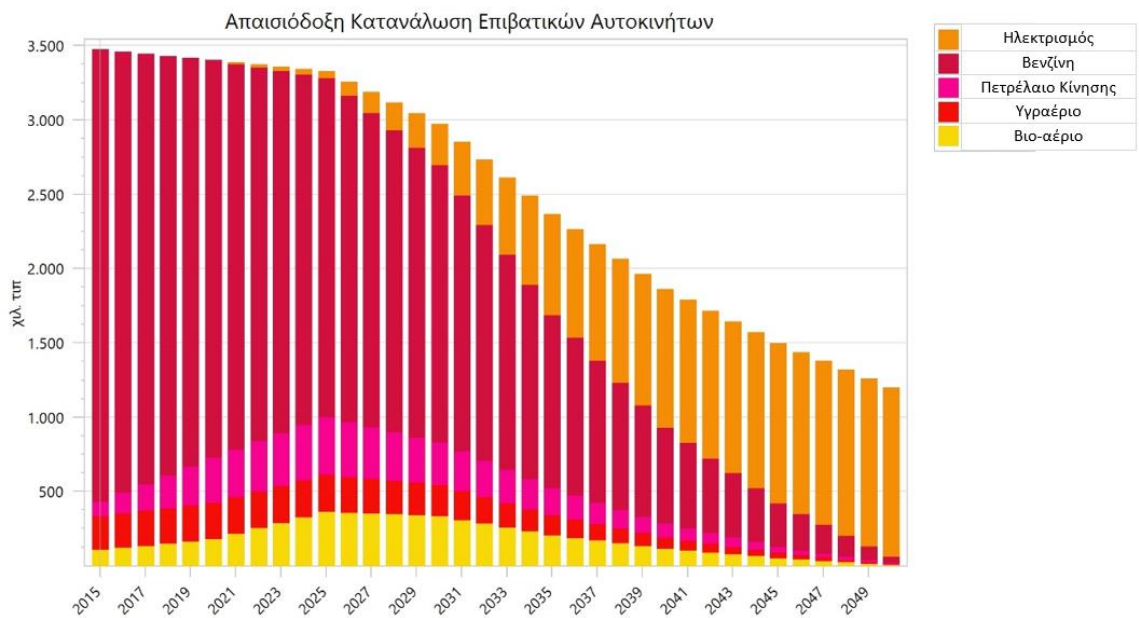


Σχήμα 23 Αισιόδοξη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS



Σχήμα 24 Ισορροπημένη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων



Σχήμα 25 Απαισιόδοξη Κατανάλωση Επιβατικών Αυτοκινήτων

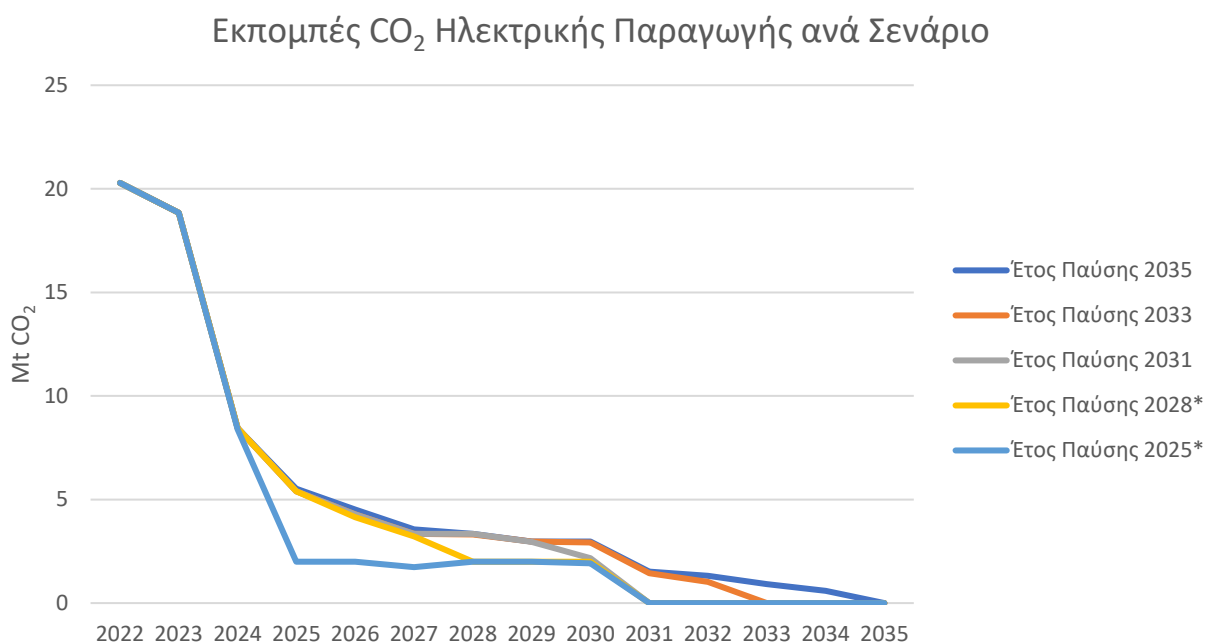
Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

Η πορεία είναι κοινή. Για το 2050 παρατηρούμε ότι η αισιόδοξη πρόβλεψη είναι γύρω στα 850 χιλ. τιπ, η ισορροπημένη είναι γύρω στα 1.030 χιλ. τιπ και η απαισιόδοξη είναι γύρω στα 1.200 χιλ. τιπ. Απλά και μόνο από την μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης των αυτοκινήτων είναι δυνατόν να αποκομιστεί ένα όφελος γύρω στα 350 χιλ. τιπ (απαισιόδοξη προβολή – αισιόδοξη προβολή)

4.2 Αποτελέσματα Εργαλείου OSeMOSYS

4.2.1 Σενάριο 1^ο μέσω δεδομένων LEAP

Εκπομπές CO₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής

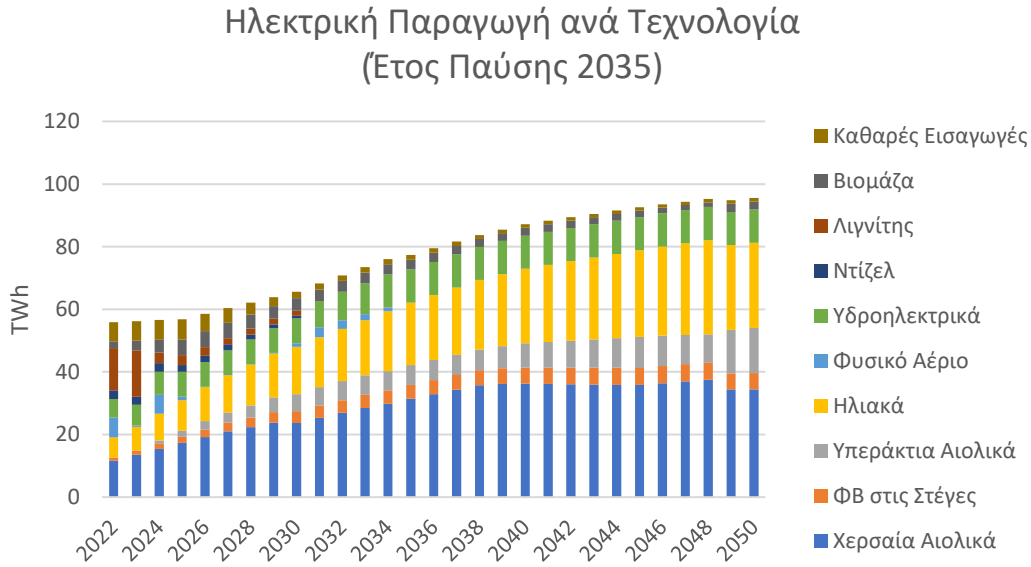


Σχήμα 26 Εκπομπές CO₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής ανά Σενάριο

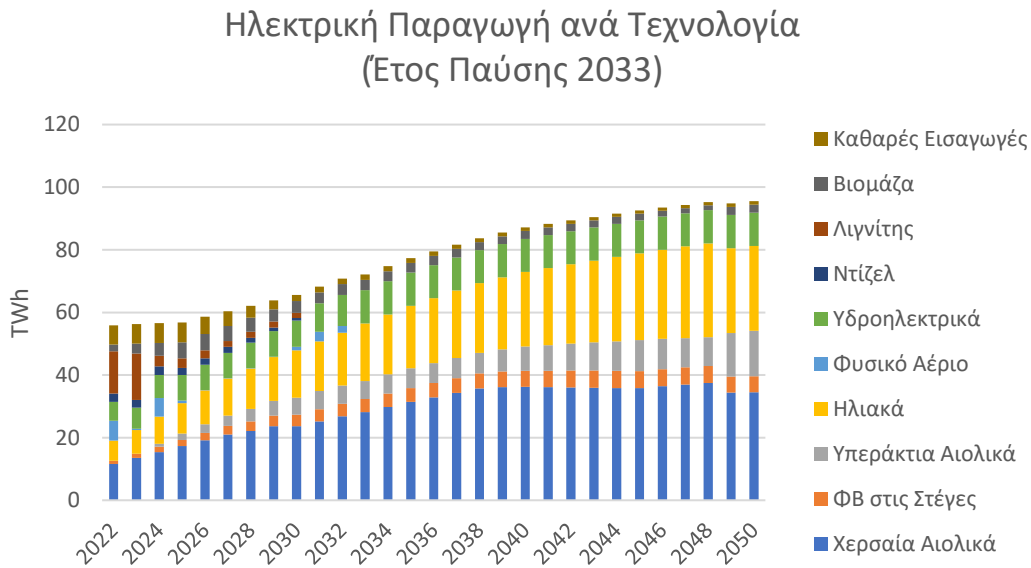
Παρατηρούμε ότι επιτυγχάνονται οι στόχοι για τις εκπομπές CO₂ αλλά για το 2025 και 2028 διατηρούνται κάποιες ελάχιστες εκπομπές έως το 2030. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μέσω του OSeMOSYS μοντελοποιούμε τη χρήση της λιγνιτικής μονάδας V που παράγει εκπομπές CO₂ έως το 2030.

Ακολουθεί η παραγωγή ενέργειας ανά τεχνολογία για κάθε σενάριο έτους παύσης εκπομπών CO₂:

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία και έτος παύσης

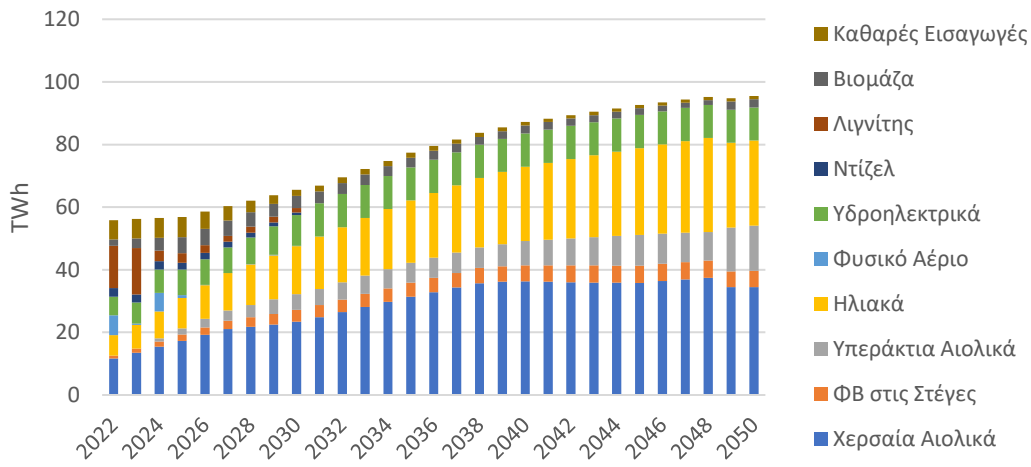


Σχήμα 27 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035



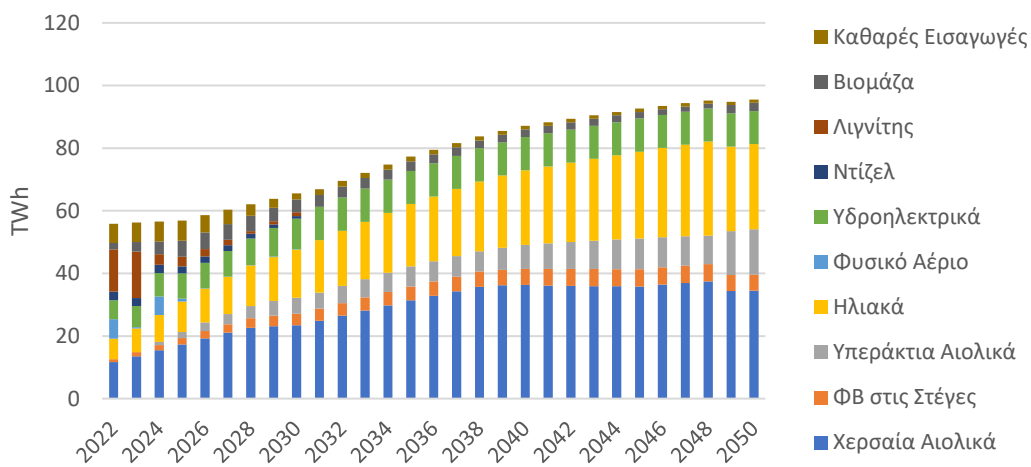
Σχήμα 28 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2031)



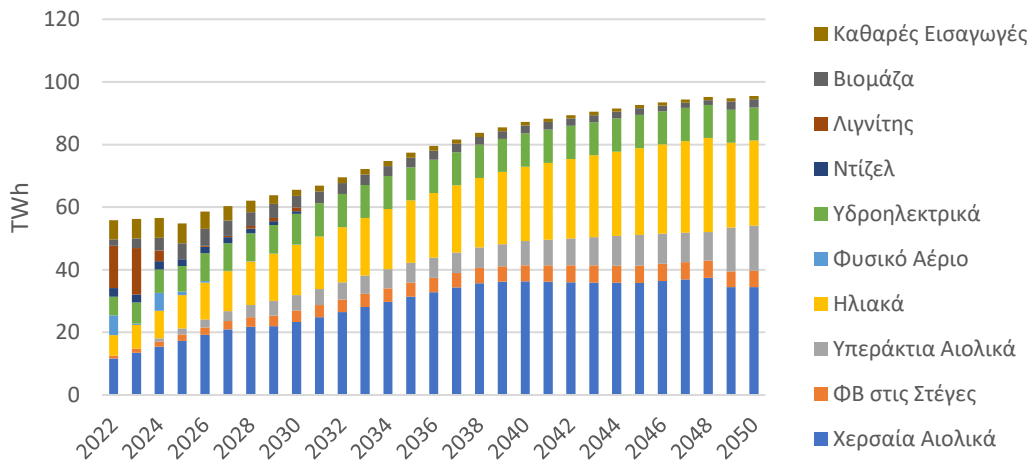
Σχήμα 29 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2028*)



Σχήμα 30 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2025*)

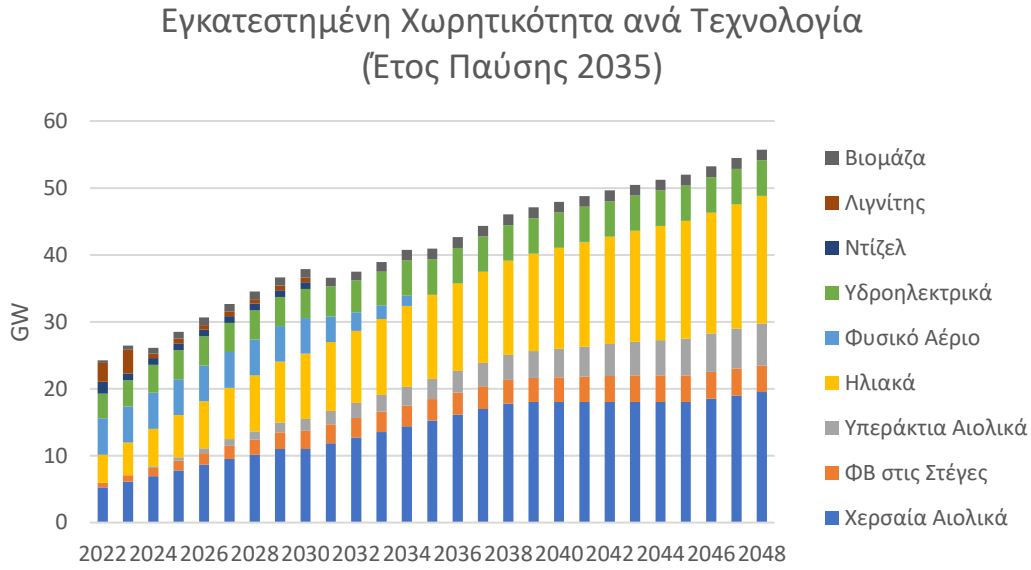


Σχήμα 31 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*

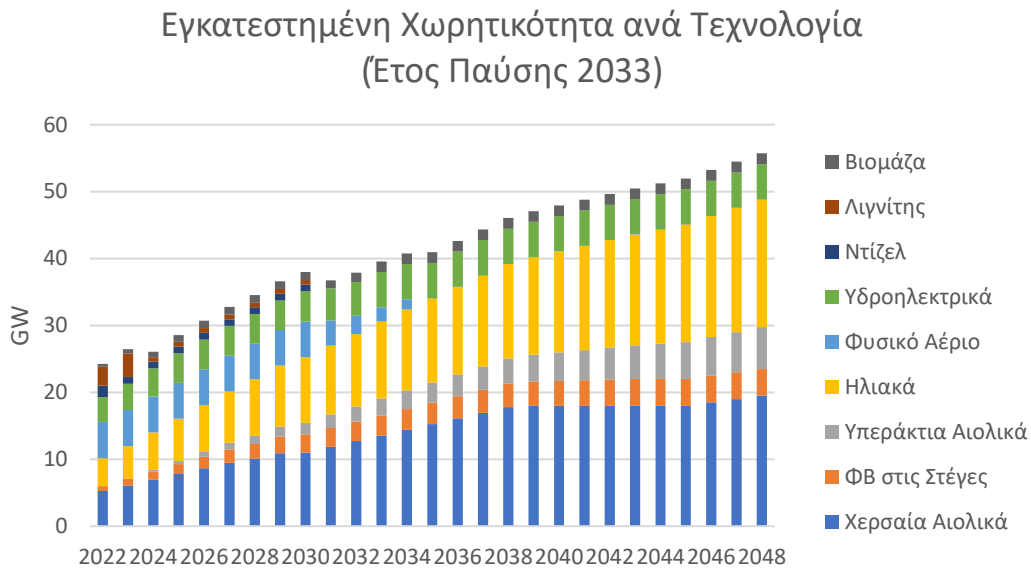
Παρατηρούμε ότι όσο πιο νωρίς θέτουμε περιορισμούς στις εκπομπές τόσο νωρίτερα σταματάει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρυπογόνες τεχνολογίες όπως το φυσικό αέριο και η καύση άνθρακα. Την ίδια στιγμή την κάλυψη της απαιτούμενης παραγωγής που υπολείπεται αναλαμβάνουν οι ΑΠΕ με κύριους παραγωγούς να είναι οι τεχνολογίες ηλιακής και χερσαίας αιολικής ενέργειας όπως και λιγότερο τα υπεράκτια αιολικά και τα υδροηλεκτρικά.

Για την καλύτερη κατανόηση της διαμόρφωσης του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, ακολουθούν διαγράμματα που παρουσιάζουν τη συνολική χωρητικότητα ανά έτος για κάθε τεχνολογία και σενάριο έτους παύσης εκπομπών:

Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία και έτος παύσης

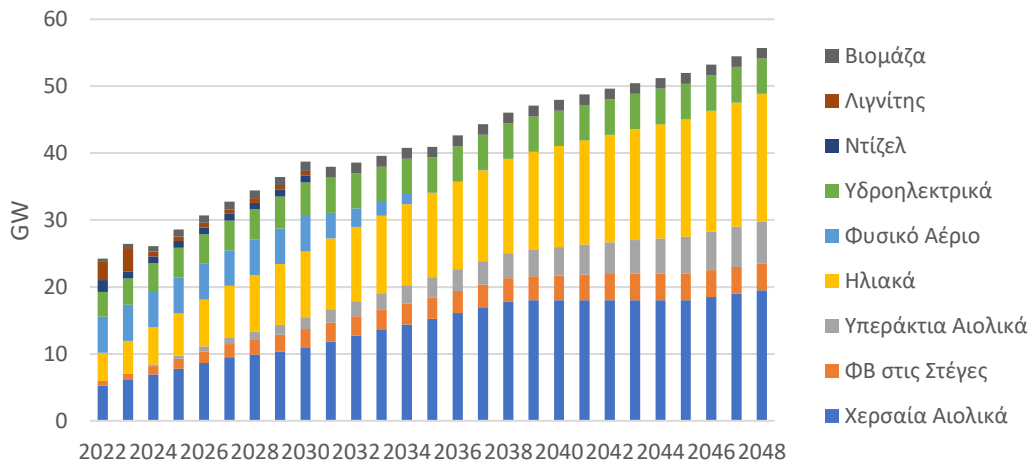


Σχήμα 32 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035



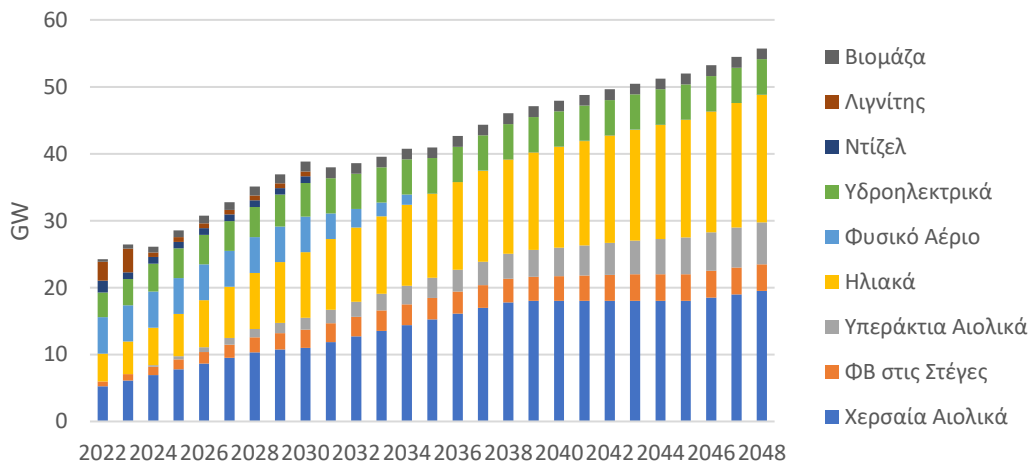
Σχήμα 33 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2031)



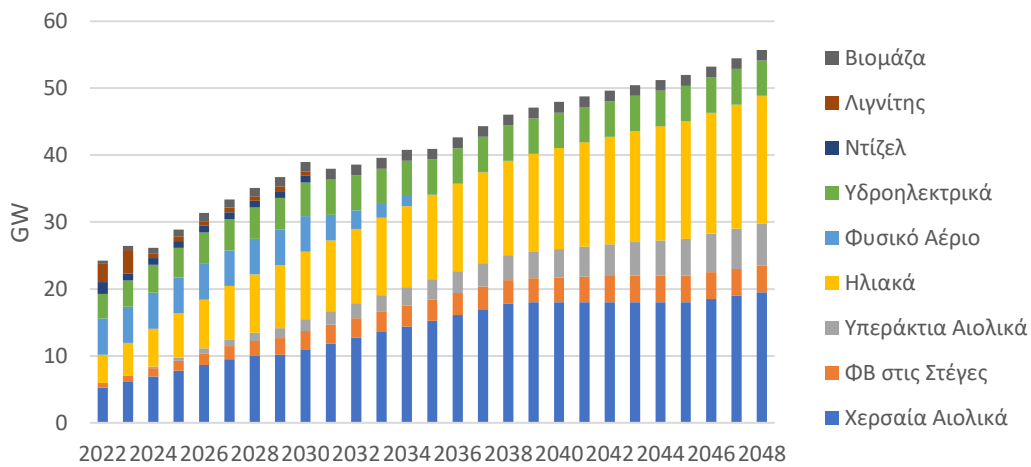
Σχήμα 34 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2028*)



Σχήμα 35 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2025*)

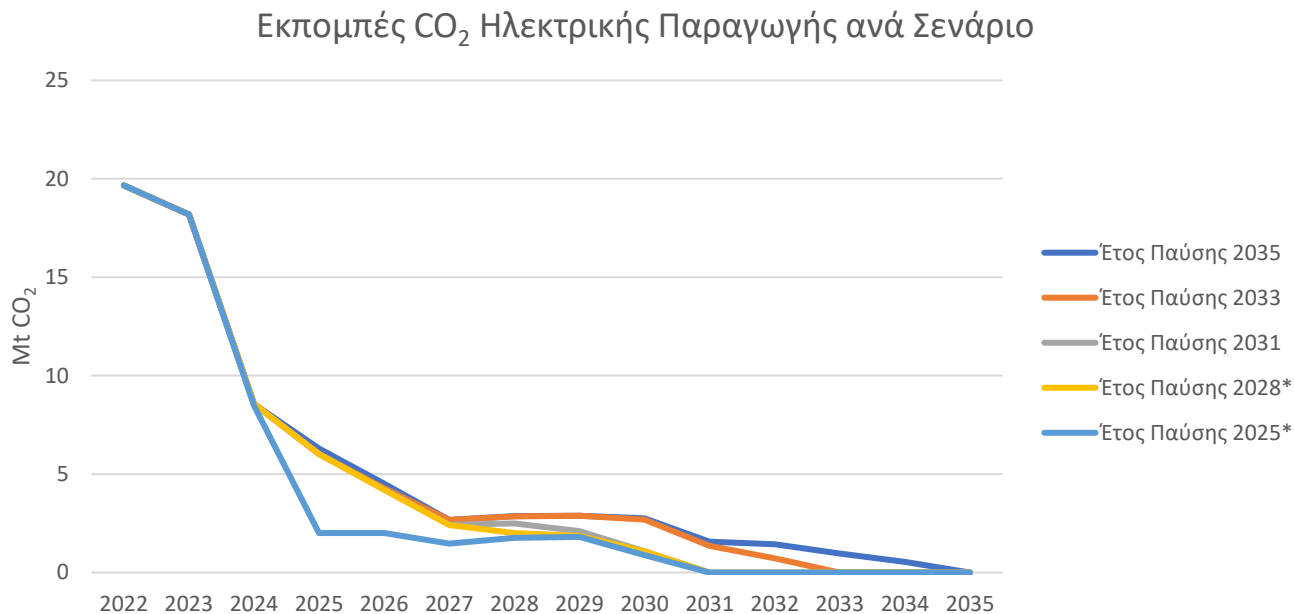


Σχήμα 36 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*

Οι διαφοροποιήσεις είναι μικρές και εντοπίζονται στα κρίσιμα χρόνια 2026 έως 2032 με την συνολική χωρητικότητα να αυξάνεται όσο πιο νωρίς εφαρμοστεί η παύση εκπομπών CO₂. Σε όλα τα διαγράμματα για τη χωρητικότητα βλέπουμε ότι σιγά σιγά το κύριο μερίδιο θα καταλάβουν με φθίνουσα σειρά η ηλιακή ενέργεια, τα χερσαία αιολικά, τα υπεράκτια αιολικά και έπειτα τα υδροηλεκτρικά. Όσον αφορά τον λιγνίτη η χωρητικότητά του σταματά για όλα τα σενάρια παύσης το 2031 και του φυσικού αερίου το 2035.

4.2.2 Σενάριο 2^ο μέσω δεδομένων ΕΣΕΚ

Εκπομπές CO₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής

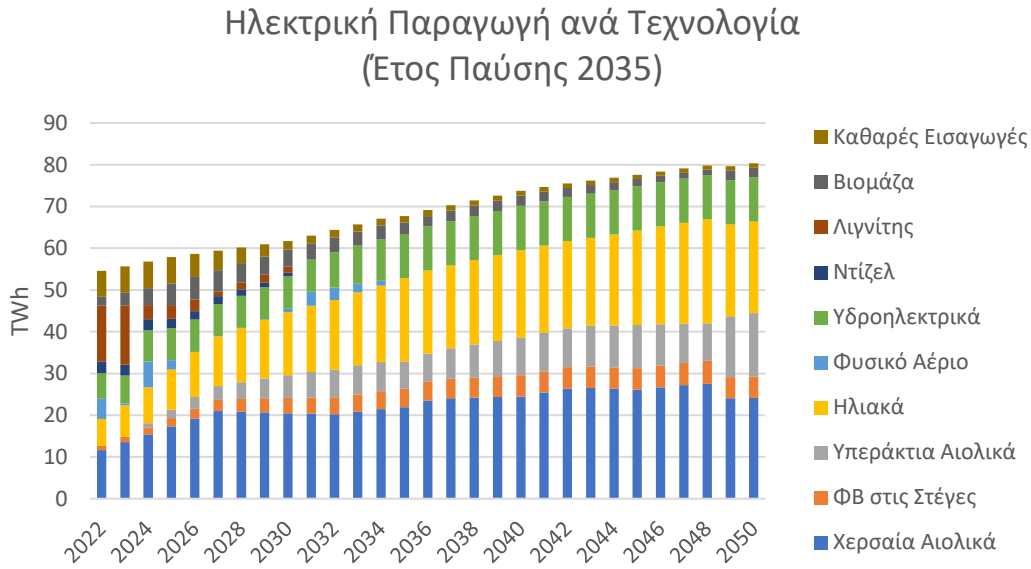


Σχήμα 37 Εκπομπές CO₂ Ηλεκτρικής Παραγωγής ανά Σενάριο

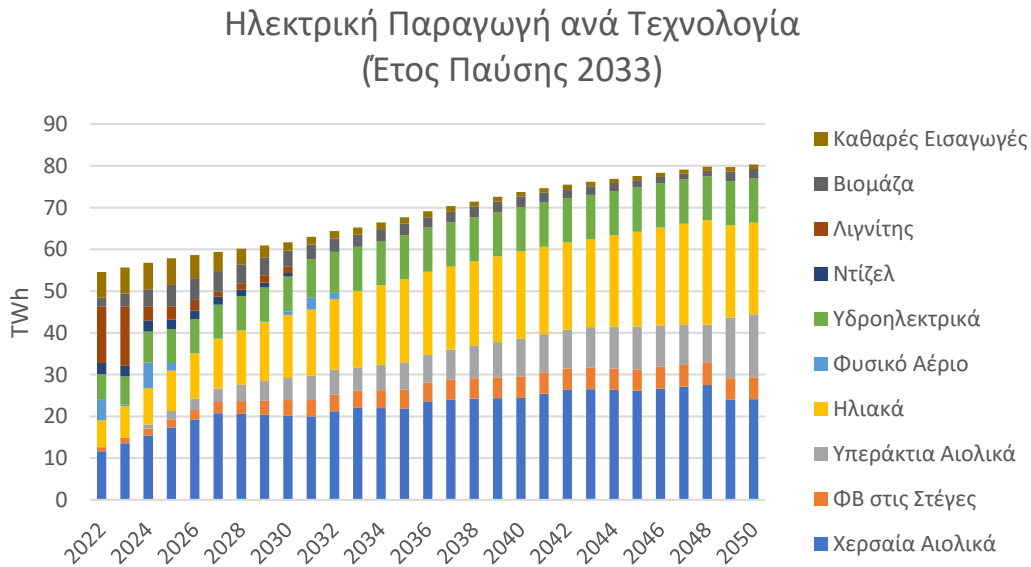
Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα για την ζήτηση του LEAP επιτυγχάνονται οι στόχοι για τις εκπομπές CO₂ και για το 2025 και 2028 διατηρείται μια ελάχιστη εκπομπή έως το 2030.

Ακολουθεί η παραγωγή ενέργειας ανά τεχνολογία για κάθε σενάριο έτους παύσης εκπομπών CO₂:

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία και έτος παύσης

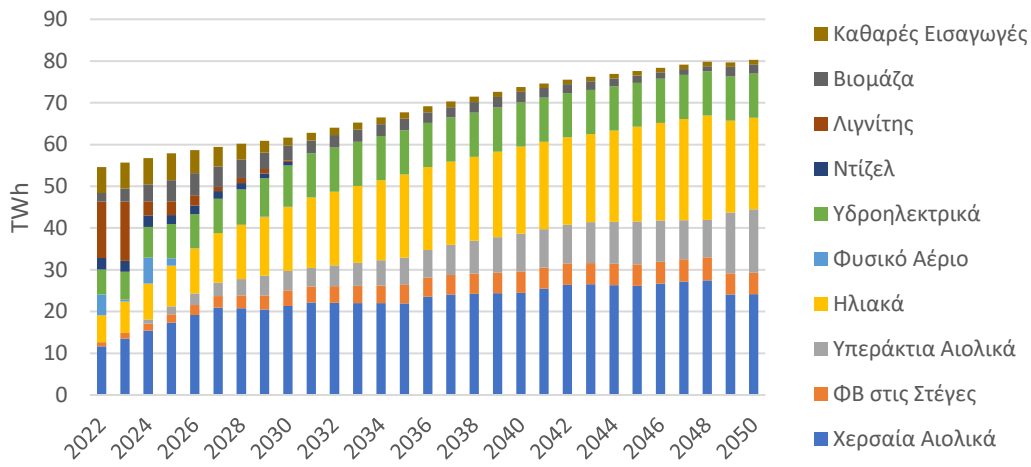


Σχήμα 38 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035



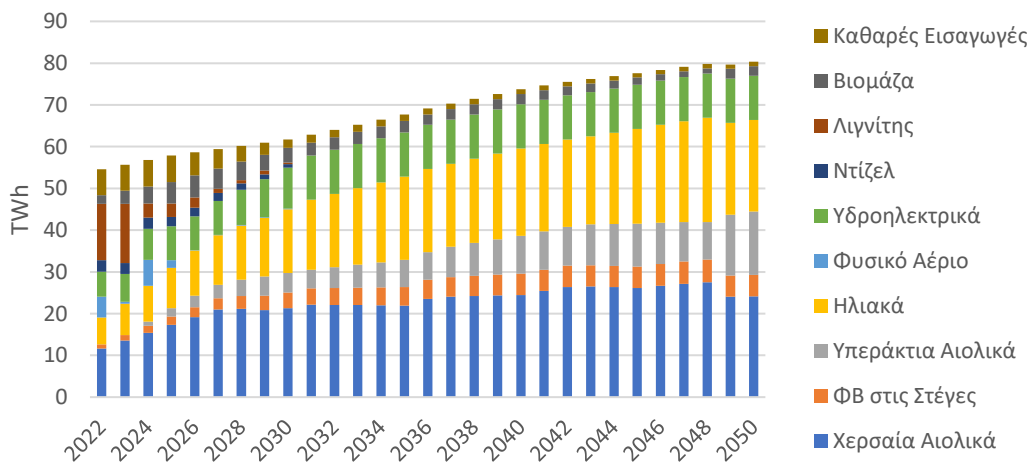
Σχήμα 39 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2031)



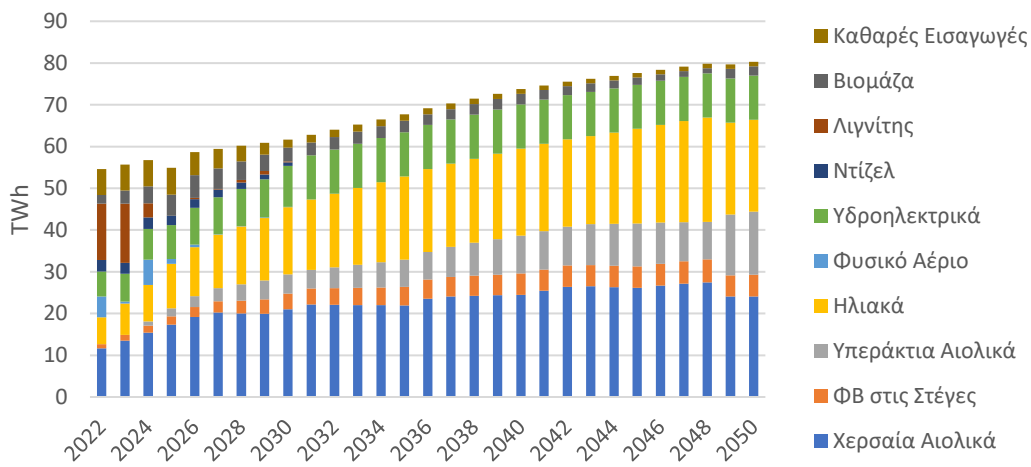
Σχήμα 40 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2028*)



Σχήμα 41 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*

Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2025*)

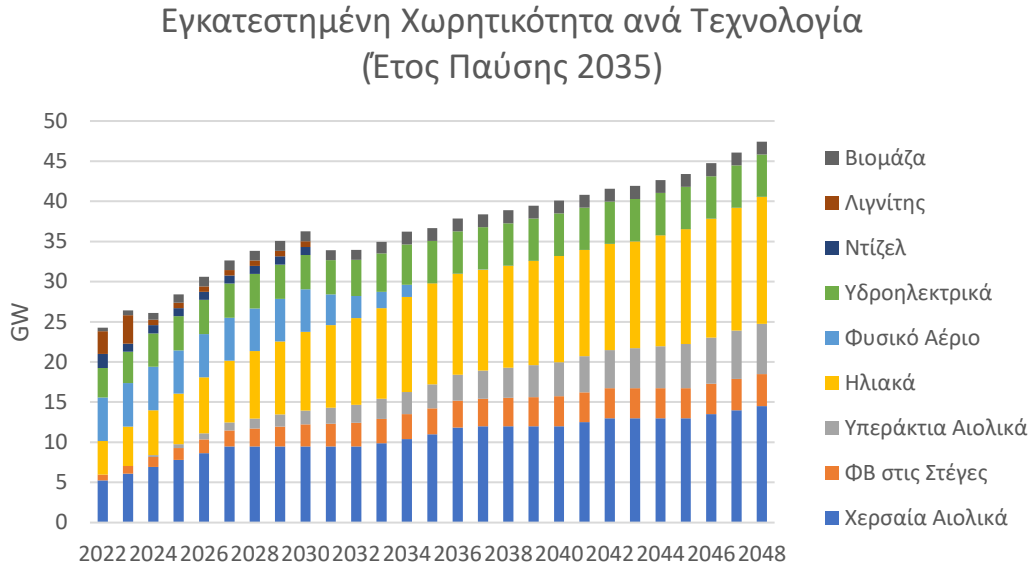


Σχήμα 42 Ηλεκτρική Παραγωγή ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*

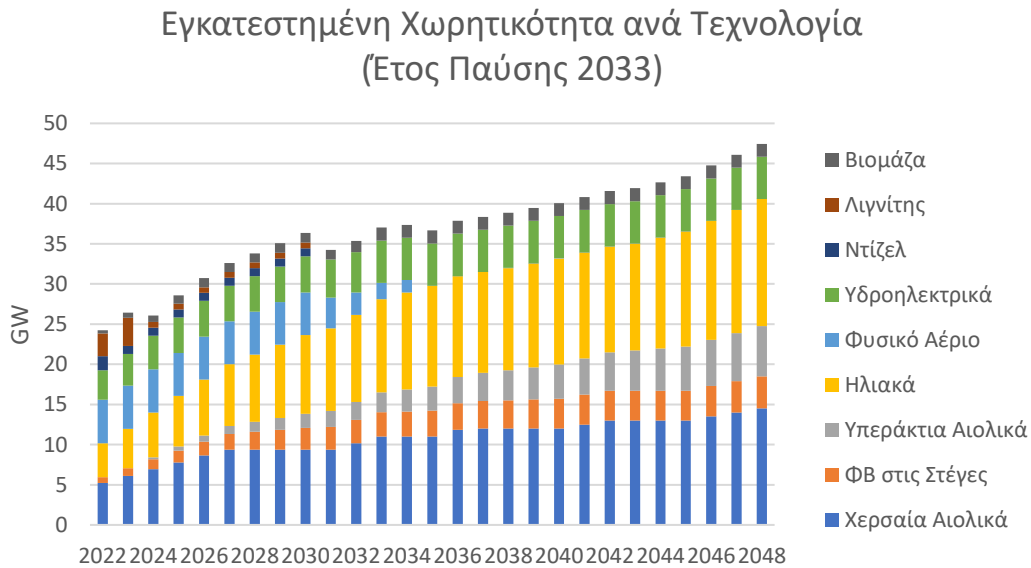
Παρατηρούμε μειωμένη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το 1^ο σενάριο και όπως στα αντίστοιχα διαγράμματα του 1^{ου} σεναρίου γρηγορότερη μετάβαση σε μη ρυπογόνες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για πιο άμεση παύση εκπομπών CO₂.

Ακολουθεί η συνολική χωρητικότητα ανά έτος για κάθε τεχνολογία και σενάριο έτους παύσης των εκπομπών:

Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία και έτος παύσης

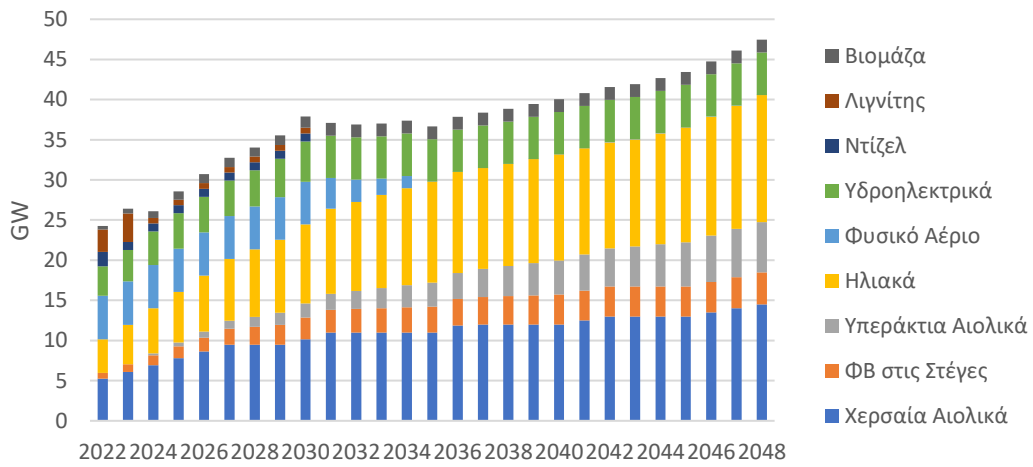


Σχήμα 43 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2035



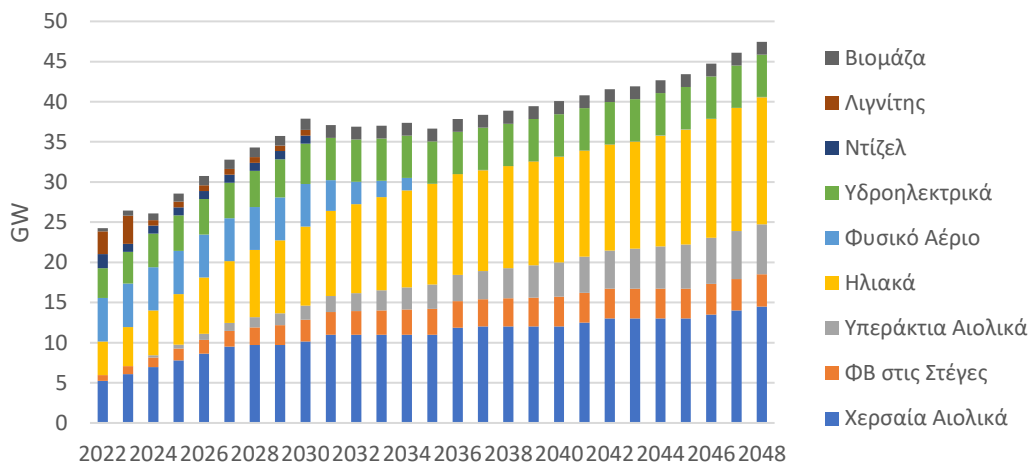
Σχήμα 44 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2033

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2031)



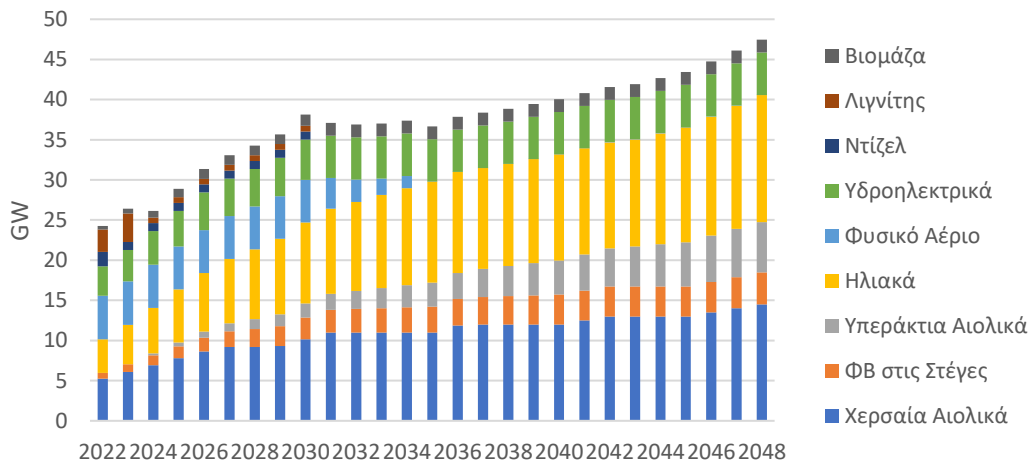
Σχήμα 45 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2031

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2028*)



Σχήμα 46 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2028*

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία (Έτος Παύσης 2025*)



Σχήμα 47 Εγκατεστημένη Χωρητικότητα ανά Τεχνολογία με έτος παύσης 2025*

Δεν παρατηρούμε σημαντικές διαφορές στην εγκατεστημένη χωρητικότητα μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} σεναρίου. Η παρατήρηση για τα έτη παύσης των εκπομπών του ίδιου σεναρίου είναι παρόμοια με το 1^ο σενάριο δηλαδή όσο πιο νωρίς σταματάμε την εκπομπή CO₂ χρειάζεται αύξηση της χωρητικότητας μεταξύ των ετών 2026 έως 2032. Επιπλέον τα έτη 2026 έως 2032 στο 1^ο σενάριο παρουσιάζεται ταχύτερη διείσδυση των χερσαίων αιολικών τεχνολογιών σε σχέση με το 2^ο σενάριο. Αυτό συμβαίνει διότι το 1^ο σενάριο έχει αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το 2^ο και το μοντέλο μας για να την ικανοποιήσει χρειάζεται χωρητικότητα αμεσότερα, που τα χερσαία αιολικά μπορούν να προσφέρουν.

Συνολική Ηλεκτροπαραγωγή

Μέχρι το 2035 στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρούμε σύγκλιση σε σχέση με το ΕΣΕΚ. Με αφετηρία, όμως, το 2035 η ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση σε σχέση με το ΕΣΕΚ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σιγά σιγά η χώρα μετά το 2035 θα αρχίσει να εξάγει ηλεκτρική ενέργεια ή να τη χρησιμοποιεί για παραγωγή άλλων βιοκαυσίμων όπως το πράσινο υδρογόνο.

Σύνολο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (TWh)	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Έγγραφο ΕΣΕΚ	54.7	58.7	64.6	78.7	112.1	149.4	175.2
Σενάριο ΕΣΕΚ με έτος παύσης 2028	48.9	57.9	61.7	67.7	73.7	77.6	80.3

Πίνακας 12 Σύγκριση Ηλεκτροπαραγωγής μεταξύ έγγραφου ΕΣΕΚ και Σεναρίου ΕΣΕΚ

Εγκατεστημένη Ισχύς από ΑΠΕ

Όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ υπάρχει σύγκλιση επίσης έως το έτος 2035 σε σχέση με το έγγραφο ΕΣΕΚ αλλά διαφορά στα επόμενα χρόνια. Για αυτή τη διαφοροποίησή μπορούμε να κάνουμε το ίδιο σχόλιο που έγινε προηγουμένως και αφορά την εξαγωγή και χρήση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας.

Ισχύς ΑΠΕ (GW)	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Έγγραφο ΕΣΕΚ	12.4	17.9	27.3	38.5	50	68.2	75.6
Σενάριο ΕΣΕΚ με έτος παύσης 2028	11.9	21.5	30.9	36.7	40	43.4	42.6

Πίνακας 13 Σύγκριση ισχύος από ΑΠΕ μεταξύ έγγραφου ΕΣΕΚ και Σεναρίου ΕΣΕΚ

Σημειώνεται ότι για τους πίνακες επιλέχτηκε το έτος παύσης 2028 αντιπροσωπευτικά μιας και τα έτη παύσης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην ισχύ από ΑΠΕ διαχρονικά.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Τόσο οι ΑΠΕ όσο και οι τεχνολογίες μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος αναμένεται να κυριαρχήσουν στην Ευρώπη και στην Ελλάδα τις επόμενες δεκαετίες. Ήδη έχουν γίνει τα πρώτα βήματα και η χώρα μας που έχει άφθονες πράσινες πηγές ενέργειας όπως ο ήλιος και ο άνεμος βαδίζει σε ολοένα ταχύτερη διεύθυνση τους στο δίκτυο ενέργειας.

Πέρα από τους περιβαλλοντικούς λόγους για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου η υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών θα φέρει μεγάλης σημασίας στρατηγικά οφέλη για τη χώρα. Τέτοια είναι η ενεργειακή αυτάρκεια που επιφέρει σταθερότερες τιμές ενέργειας για τους καταναλωτές και η ανάπτυξη της εγχώριας οικονομίας. Σημαντική κρίνεται και η απεξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα που πολλές φορές αποτελούν μοχλούς πίεσης εξωγενών συμφερόντων προς τη χώρα και την Ευρώπη για να αποδεχτούν τετελεσμένα γεγονότα καταφανούς παραβίασης του διεθνούς δικαίου όπως έγινε με τον πρόσφατο πόλεμο της Ρωσίας. Τέλος, εξίσου σημαντική για τα γεωπολιτικά είναι η εδραίωση της Ελλάδας ως ενεργειακός κόμβος της περιοχής.

Αυτές οι ευεργετικές ιδιότητες της πράσινης μετάβασης θα επιτευχθούν με κρίσιμες παρεμβάσεις και νομοθετήματα από τους κυβερνητικούς φορείς. Τέτοια παραδείγματα είναι οι επιδοτήσεις στα νοικοκυριά για αντικατάσταση τεχνολογιών χρήσης ορυκτών καυσίμων με ηλεκτρισμό ή η απόκτηση ενεργειακά αποδοτικότερων συσκευών. Ακόμα, σημαντικές είναι οι καμπάνιες και τα κίνητρα για λελογισμένη χρήση ενέργειας από όλους τους καταναλωτές και τα δημόσια κτίρια. Επιτακτικός διαφαίνεται και ο εξηλεκτρισμός του στόλου των ιδιωτικών οχημάτων καθώς και η χρήση βιοκαυσίμων στους τομείς των μεταφορών που δεν συμφέρει να εξηλεκτριστούν. Τα βιοκαύσιμα όπως είναι και το πράσινο υδρογόνο υπολογίζεται να χρησιμοποιηθούν επίσης στη βιομηχανία αλλά και στη θέρμανση κτηρίων.

Όλες αυτές οι πολιτικές και πολλές άλλες αποτυπώνονται στο ΕΣΕΚ που έχει εκπονήσει η χώρα προκειμένου να συμβαδίσει και με τους στόχους που έχει θέσει η ΕΕ για το 2030 με τη δέσμη πακέτου Fit For 55. Μακροπρόθεσμος στόχος του ΕΣΕΚ, κάτι που έχει συμφωνηθεί και από όλα τα κράτη-μέλη της ΕΕ, αποτελεί η κλιματική ουδετερότητα για το 2050, δηλαδή να παράγονται μόνο όσα αέρια του θερμοκηπίου μπορούν να απορροφηθούν.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε μέσω των εργαλείων OSeMOSYS για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και LEAP για τη ζήτηση ενέργειας η δυνατότητα και

πορεία της ενεργειακής μετάβασης της χώρας σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του ΕΣΕΚ.

Προς αυτόν το σκοπό μοντελοποιήσαμε 2 σενάρια ζήτησης με το LEAP βασιζόμενα σε αριθμητικά δεδομένα διείσδυσης τεχνολογιών που δίνει το ΕΣΕΚ. Το 2^ο σενάριο παραμετροποιήθηκε ως περισσότερο αισιόδοξο από το 1^ο.

Στη συνολική ζήτηση το 2^ο σενάριο ακολουθεί ικανοποιητικά τις προβλέψεις του ΕΣΕΚ παρά τις διαφορές που υπάρχουν στους τρόπους υπολογισμού του τομέα των μεταφορών και τη μη μοντελοποίηση εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία και τον αγροτικό τομέα.

Στις μεταφορές, παρά τις διαφορές, η τάση μείωσης της ολικής ενεργειακής ζήτησης παρουσιάζει σύγκλιση μεταξύ σεναρίων και ΕΣΕΚ.

Επίσης, στον βιομηχανικό τομέα οι τάσεις αύξησης - μείωσης της ολικής ενεργειακής ζήτησης μεταξύ σεναρίου 2, που εξέλαβε μέτρα μείωσης χρήσης φυσικού αερίου, και ΕΣΕΚ παρουσιάζουν σύγκλιση.

Στον τομέα των νοικοκυριών, όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το σενάριο 2 καθόλα τα χρόνια δίνει μια μικρότερη κατανάλωση σε σχέση με το ΕΣΕΚ, κάτι που δείχνει ότι η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης των οικιακών συσκευών μπορεί να παίξει ιδιαίτερο ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στην ολική κατανάλωση στα νοικοκυριά το σενάριο 2 ακολουθεί από κοντά τις προβολές του ΕΣΕΚ αξιοποιώντας την αναβάθμιση των συσκευών και τη μείωση της χρήσης του φυσικού αερίου.

Τέλος, στα 2 μοντελοποιούμενα σενάρια, οι κύριοι τομείς ενεργειακής ζήτησης είναι κυρίως τα νοικοκυριά και η βιομηχανία, με τον τριτογενή τομέα και τις μεταφορές να ακολουθούν. Το ποσοστό ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας τόσο βάσει σεναρίων όσο και του ΕΣΕΚ θα ξεπεράσει το 50% επί του συνόλου των καυσίμων.

Για το OSeMOSYS μοντελοποιήσαμε 2 σενάρια για την κάλυψη της απαιτούμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το ένα πήρε τα δεδομένα από το 1^ο σενάριο του LEAP και το 2^ο απευθείας από το ΕΣΕΚ.

Τα κύρια αποτελέσματα της ανάλυσης και για τα 2 σενάρια παρουσιάζουν το ρόλο που θα παίξουν η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια (τόσο η χερσαία και η υπεράκτια) και λιγότερο οι υδροηλεκτρικές τεχνολογίες στην ηλεκτρική παραγωγή με την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από αυτές. Μάλιστα όσο πιο νωρίς

τερματίζουμε τις εκπομπές CO₂ τόσο γρηγορότερα διεισδύουν οι ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας και επίσης αυξάνεται ταχύτερα η συνολική χωρητικότητα των τεχνολογιών. Και στα 2 σενάρια ζήτησης, ανεξαρτήτως έτους παύσης εκπομπών, η χωρητικότητα του λιγνίτη σταματά το 2031 και για το φυσικό αέριο έχουμε παύση ύπαρξης χωρητικότητας το 2035.

Επίσης για τη χωρητικότητα, σε σύγκριση με το σενάριο 2, το σενάριο 1 παρουσιάζει μια ταχύτερη διείσδυση των χερσαίων αιολικών τεχνολογιών για τα έτη 2026 έως 2032 καθώς απαιτείται μεγαλύτερη χωρητικότητα για την κάλυψη της μεγαλύτερης ζήτησης του σεναρίου 1.

Η σύγκριση του 2^{ου} σεναρίου με το ΕΣΕΚ παρουσιάζει σύγκλιση στους τομείς τόσο της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην ισχύ από ΑΠΕ μέχρι το 2035. Από εκεί και πέρα υπάρχει απόκλιση με το ΕΣΕΚ να παρουσιάζει μεγαλύτερα μεγέθη και στους 2 τομείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προβλέπεται από το 2035 και μετά εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς άλλες χώρες ή χρησιμοποίηση της για την παραγωγή βιοκαυσίμων όπως το πράσινο υδρογόνο.

Προτάσεις για μελλοντική Έρευνα

- Να γίνει μια λεπτομερέστερη ανάλυση των ανανεώσιμων καυσίμων όπως το πράσινο υδρογόνο στη μελλοντική διείσδυση τους στο ενεργειακό σύστημα και να μελετηθεί η ενσωμάτωση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.
- Να γίνει μοντελοποίηση για την εξοικονόμηση ενέργειας στον αγροτικό και βιομηχανικό τομέα.
- Να γίνει μια οικονομική ανάλυση και να παραχθούν οικονομικά αποτελέσματα για τους τομείς της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας μέσω των εργαλείων μοντελοποίησης.

Βιβλιογραφία

- ACEA. (2023, September 29). New passenger cars by segment in the EU.
<https://www.acea.auto/figure/new-passenger-cars-by-segment-in-eu/>
- Ahlgren, L. (2023, January 4). GE Aerospace Runs A Boeing 787-10 Engine On 100% SAF. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/ge-aerospace-runs-a-boeing-787-10-engine-on-100-saf/>
- Climate Science Investigations South Florida. (2023). *Causes of Climate Change*.
<https://www.ces.fau.edu/nasa/module-4/causes-2.php>
- Conversation, T. (2020, November 3). Nitrous oxide is a far more powerful greenhouse gas than CO2. *Sustainability Times*. <https://www.sustainability-times.com/environmental-protection/nitrous-oxide-is-a-far-more-powerful-greenhouse-gas-than-co2/>
- Cooper, H., Gibbons-Neff, T., Schmitt, E., & Barnes, J. E. (2023, August 18). Troop Deaths and Injuries in Ukraine War Near 500,000, U.S. Officials Say. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/08/18/us/politics/ukraine-russia-war-casualties.html>
- Council of Europe. (2023a). *How the Russian invasion of Ukraine has further aggravated the global food crisis*.
<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-the-russian-invasion-of-ukraine-has-further-aggravated-the-global-food-crisis/>
- Council of Europe. (2023b, September 7). *Energy Union - Consilium*.
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/energy-union/>
- Council of Europe. (2023c, March 28). *Member states agree to extend voluntary 15% gas demand reduction target*.

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/03/28/member-states-agree-to-extend-voluntary-15-gas-demand-reduction-target/>

Council of Europe. (2023d, December 13). Fit for 55 - the EU's plan for a green transition - consilium.

<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

Council of Europe. (2023e, May 3). Fit for 55: Reaching climate goals in the land use and forestry sectors.

<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-lulucf-land-use-land-use-change-and-forestry/>

Council of Europe. (2023f). Legislative Acts and Other Instruments

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-66-2022-INIT/el/pdf>

Council of Europe. (2023g). ReFuelEU Aviation Initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector.

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/refueleu-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector/>

Council of Europe. (2024). Impact of Russia's invasion of Ukraine on the markets: EU response.

<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-response-ukraine-invasion/impact-of-russia-s-invasion-of-ukraine-on-the-markets-eu-response/>

Dale, G., & Moos, J. (2023, November 28). Why the world's first flight powered entirely by sustainable aviation fuel is a green mirage. The Conversation.

<http://theconversation.com/why-the-worlds-first-flight-powered-entirely-by-sustainable-aviation-fuel-is-a-green-mirage-218544>

Deloitte. (2023). Sustainability and Climate Natural Gas Demand Outlook to 2050.

https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/risk/Natural%20Gas%20Demand%20Outlook%20to%202050_Deloitte_%C3%96ko-Institut.pdf

Eagle.org. (2023). EU Fit for 55: Maritime FuelEU Regulation.

<https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/regulatory-news/2023/ABS%20Regulatory%20News%20-%20Fit%20for%2055%20-%20FuelEU.pdf>

Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., & Nix, J. (2018).

Analysis of long haul battery electric trucks in EU.

EIA. (2024, February 6). Short-Term Energy Outlook - U.S. Energy Information Administration (EIA).

https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php

ELSTAT. (2018). Statistics.

https://www.statistics.gr/en/statistics?p_p_id=documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=4&p_p_col_pos=1&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_javax.faces.resource=document&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_in=downloadResources&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_documentID=297775&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_locale=en

ELSTAT. (2023a). Statistics.

https://www.statistics.gr/en/statistics?p_p_id=documents_WAR_publicationsp

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

portlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=4&p_p_col_pos=1&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_javax.faces.resource=document&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_in=downloadResources&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_documentID=489332&_documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_locale=en

ELSTAT. (2023b). Ellas me Arithmous July_September_2023_GR.

https://www.statistics.gr/documents/20181/18074233/GreeceinFigures_2023Q3_GR.pdf/ea6d2a77-106f-78c4-6854-709d02343225

Euro2day.gr. (2024, January 20). Από ΑΠΕ το 57% της ηλεκτροπαραγωγής το 2023, νέο ρεκόρ.

<https://www.euro2day.gr/news/economy/article/2227808/apo-ape-to-57-ths-hlektroparagogs-to-2023-neo-rek.html>

European Commission. (2022a). Climate Change. European Climate Pact.

https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_en

European Commission. (2022b). Second in-depth review of strategic areas for Europe's interests.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/second-depth-review-strategic-areas-europes-interests_en

European Commission. (2022c, November 15). Renewable fuels of non-biological origin in the European Union. SETIS.

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

https://setis.ec.europa.eu/renewable-fuels-non-biological-origin-european-union_en

European Commission. (2023a). What is the EU ETS?. Climate Action.

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en

European Commission. (2023b, November 6). Greece - Draft updated NECP 2021-2030.

<https://commission.europa.eu/system/files/2023-11/GREECE%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20EN.pdf>

European Commission (2024). Causes of climate change. Climate Action.

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en

European Parliament. (2023a). Cutting EU greenhouse gas emissions: national targets for 2030.

https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/2/story/20180208STO97442/20180208STO97442_en.pdf

European Parliament. (2023b, September 13). 70% of jet fuels at EU airports will have to be green by 2050 | News | European Parliament.

<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230911IPR04913/70-of-jet-fuels-at-eu-airports-will-have-to-be-green-by-2050>

Eurostat. (2023a). Natural gas price statistics.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics

Eurostat. (2023b, August). Road freight transport by journey characteristics.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics

Eurostat. (2024, February 3). Disaggregated final energy consumption in households - quantities.

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_HHQ__custom_2292550/default/table?lang=en

Gardumi, F., Shivakumar, A., Morrison, R., Taliotis, C., Broad, O., Beltramo, A., Sridharan, V., Howells, M., Hörsch, J., Niet, T., Almulla, Y., Ramos, E., Burandt, T., Balderrama, G. P., Pinto de Moura, G. N., Zepeda, E., & Alfstad, T. (2018). From the development of an open-source energy modelling tool to its application and the creation of communities of practice: The example of OSeMOSYS. *Energy Strategy Reviews, 20*, 209–228.

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.03.005>

Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., Hughes, A., Silveira, S., DeCarolis, J., Bazillian, M., & Roehrl, A. (2011). OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System: An introduction to its ethos, structure and development. *Energy Policy, 39*(10), 5850–5870.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.033>

IEA. (2022). Global energy crisis – topics.

<https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

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.

<https://doi.org/10.1016/j.rset.2023.100049>

Krause, J., Thiel, C., Tsokolis, D., Samaras, Z., Rota, C., Ward, A., Prenninger, P., Coosemans, T., Neugebauer, S., & Verhoeve, W. (2020). EU road vehicle

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

energy consumption and CO2 emissions by 2050 – Expert-based scenarios.

Energy Policy, 138, 111224. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111224>

Maritime Cyprus. (2023). Energy transition outlook 2023 – maritime forecast to 2050.

[https://maritimecyprus.com/wp-](https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2023/09/DNV_Maritime_Forecast_2050_2023-report_c.pdf)

[content/uploads/2023/09/DNV_Maritime_Forecast_2050_2023-report_c.pdf](https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2023/09/DNV_Maritime_Forecast_2050_2023-report_c.pdf)

Mickeviciute, R. (2023, November 24). Boeing 777 vs 787: How do the two aircraft compare?. AeroTime.

<https://www.aerotime.aero/articles/boeing-777-vs-787>

Politis, I., Georgiadis, G., Papadopoulos, E., Fyrogenis, I., Nikolaidou, A.,

Kopsacheilis, A., Sdoukopoulos, A., & Verani, E. (2021). COVID-19

lockdown measures and travel behavior: The case of Thessaloniki, Greece.

Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 10, 100345.

<https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100345>

Timmermans, F. (2022). The just transition mechanism. European Commission.

[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en)

[2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en)

[mechanism_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en)

UNDP. (2023, July 19). Notes from Tuvalu: Leading the way in adapting to sea-level

rise. [https://www.undp.org/blog/notes-tuvalu-leading-way-adapting-sea-level-](https://www.undp.org/blog/notes-tuvalu-leading-way-adapting-sea-level-rise)

[rise](https://www.undp.org/blog/notes-tuvalu-leading-way-adapting-sea-level-rise)

UNICEF. (2023). Thessaly: Catastrophic floods.

<https://www.unicef.org/greece/en/thessaly-catastrophic-floods>

United Nations. (2020). The Paris Agreement.

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας μέχρι το 2050 με τη χρήση των εργαλείων LEAP και OSeMOSYS

US EPA, O. (2016, January 11). *Importance of Methane* [Overviews and Factsheets].

<https://www.epa.gov/gmi/importance-methane>

Wikipedia.org. (2024, February 15). Economy of Ukraine.

https://en.wikipedia.org/wiki/Economy_of_Ukraine

WWF. (2017, October). *Long term plan for the Greek Energy System*.

<https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/EnergyReportFinal.pdf>