



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΔΟΓΕΝΟΥΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ**

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

Παναγιώτη Δ. Καρκατσούλη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΔΟΓΕΝΟΥΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ**

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

Παναγιώτη Δ. Καρκατσούλη

Συμβουλευτική Επιτροπή: Π. Κάπρος, Καθηγητής ΕΜΠ (επιβλέπων)

Κ. Βουρνάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Καβατζά, Λέκτορας ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την: 22/2/2017

.....

Π. Κάπρος,

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ι. Πολυράκης

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Κ. Βουρνάς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Γ. Κορρές

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Σ. Καβατζά,

Λέκτορας ΕΜΠ

.....

Π. Γεωργιλάκης

Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Α. Ξεπαπαδέας

Καθηγητής ΟΠΑ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

.....
Παναγιώτης Δ. Καρκατσούλης

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

Copyright © Παναγιώτης Δ. Καρκατσούλης, 2017

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.

Στην οικογένειά μου

Πρόλογος

Η διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο εργαστήριο Ενέργειας-Οικονομίας-Περιβάλλοντος (E3MLab), το διάστημα Μάρτιος 2007 – Φεβρουάριος 2017. Φτάνοντας στο τέλος αυτής της διαδρομής, που δεν είναι παρά η αρχή της επόμενης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλλαν με ποικίλους τρόπους στην πραγματοποίησή της.

Η διατριβή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη, τη συνεχή παρακολούθηση και καθοδήγηση του Καθηγητή κ. Π. Κάπρου, στον οποίο θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες για το ενδιαφέρον που έδειξε στην παρακολούθηση της εξέλιξης της διατριβής, τη συνεχή καθοδήγηση που προσέφερε, την συμπαράστασή του στις δυσκολίες και την συμβολή του στην ολοκλήρωση της διατριβής. Θα ήθελα, επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κ. Βουρνά και την Λέκτορα Σ. Καβατζά που αποτέλεσαν μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής. Θα ήθελα, ακόμα, να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Α. Ξεπαπαδέα, τον Καθηγητή Ι. Πολυράκη, τον Καθηγητή Γ. Κορρέ και τον Επίκουρο Καθηγητή Π. Γεωργιάκη για την τιμή που μου έκαναν να παραβρεθούν στην εξέταση υποστήριξης της διατριβής μου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη του εργαστηρίου οι οποίοι συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην επίτευξη αυτού του αποτελέσματος. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον Ν. Κουβαριτάκη και στον Λ. Παρούσο για την ιδιαίτερα σημαντική τους βοήθειά σε όλα τα στάδια της διατριβής και τις χρήσιμες συμβουλές τους. Επιπλέον, ένα ευχαριστώ για τις συζητήσεις και την άψογη συνεργασία αξίζει στους Π. Φράγκο, Κ. Φραγκιαδάκη, Ν. Τάσιο, Π. Σίσκο, Γ. Χαραλαμπίδη, Σ. Τσάνη και Ζ. Βροντίση.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους για την συνεχή στήριξη και την κατανόησή τους όλα αυτά τα χρόνια. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με υποστήριξε ηθικά όλα αυτά τα χρόνια και με βοήθησε καθοριστικά να φτάσω στην ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου της ζωής μου και τους αφιερώνω τη διατριβή.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017,

Παναγιώτης Δ. Καρκατσούλης

“Όλα τα μοντέλα είναι λάθος, αλλά μερικά είναι χρήσιμα” (Box 1979)¹

¹ Box, G. E. P. (1979), "Robustness in the strategy of scientific model building", in Launer, R. L.; Wilkinson, G. N., *Robustness in Statistics*, Academic Press, pp. 201–236.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής αφορά την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός πρωτότυπου δυναμικού μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής οικονομικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο. Η ανάπτυξη του προτεινόμενου μοντέλου, με την ονομασία GEME3-RD, έχει ως σκοπό τη αναλυτικότερη μοντελοποίηση της τεχνολογικής προόδου, η οποία συμβάλλει στην καλύτερη ανάλυση των επιπτώσεων του μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος στη βιομηχανία και την οικονομία, ώστε να μειωθούν δραστικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να αποτραπεί/περιοριστεί η κλιματική αλλαγή σε παγκόσμιο επίπεδο. Για το λόγο αυτό το μοντέλο έχει παγκόσμια εμβέλεια και περιλαμβάνει όλες τις χώρες του κόσμου συναθροισμένες σε ομάδες. Περιλαμβάνει, επίσης, όλους τους κλάδους παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών στην οικονομία με αρκετή λεπτομέρεια, καθώς και την αναπαράσταση των ενεργειακών τεχνολογιών και του οικονομικού συστήματος.

Το θεωρητικό υπόβαθρο του προτεινόμενου μοντέλου συνδυάζει τη θεωρία της γενικής ισορροπίας, της ενδογενούς μεγέθυνσης, της διακριτής επιλογής, της μαθηματικής μοντελοποίησης και των αλγορίθμων επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων. Η μοντελοποίηση αφορά την αναπαράσταση της συμπεριφοράς κάθε οικονομικού παράγοντα (νοικοκυριά, επιχειρήσεις και δημόσιος τομέας), ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της χρησιμότητας ή του κόστους υπό τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Οι οικονομικοί αυτοί παράγοντες λαμβάνουν τις αποφάσεις τους βασιζόμενοι σε μυωπικές προσδοκίες, ενώ υπάρχει επιπλέον η επιλογή να προσομοιωθούν με βάση ορθολογικές προσδοκίες. Η προσομοίωση των αποφάσεων των νοικοκυριών σχετικά με την επιλογή διαρκών καταναλωτικών αγαθών (π.χ. αυτοκίνητα, ηλεκτρικές συσκευές κτλ.) βασίζεται στη θεωρία διακριτών επιλογών, η οποία είναι κατάλληλη για την αναπαράσταση αποφάσεων όταν υφίσταται σημαντική ετερογένεια μεταξύ των αποφαιζόντων. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στη διατριβή, ως μοντέλο γενικής ισορροπίας, είναι σε θέση να αποτυπώσει τις πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ όλων των αγορών ενός οικονομικού συστήματος και να προσομοιώσει με συνέπεια τους μηχανισμούς που καθορίζουν την κατανομή πόρων, δραστηριότητας και εισοδημάτων.

Το μοντέλο είναι κατασκευασμένο σαν σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων διατυπωμένο με τη μορφή προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP), που στοχεύει να υπολογίσει την ταυτόχρονη ισορροπία των αγορών σε όλες τις χώρες/περιοχές. Οι χώρες/περιοχές συνδέονται μεταξύ τους μέσω διμερών

εμπορικών συναλλαγών, οι οποίες υπολογίζονται ενδογενώς. Η κατάστρωση του μοντέλου έγινε σε περιβάλλον GAMS και για την επίλυσή του σε Η/Υ χρησιμοποιούνται είτε έτοιμοι αλγόριθμοι μη γραμμικού προγραμματισμού, είτε ο προτεινόμενος αλγόριθμος της παρούσης διατριβής.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση μεγάλης κλίμακας μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (με πάνω από 5 εκατομμύρια μη γραμμικών εξισώσεων), όταν οι αλγόριθμοι, στη μέχρι τώρα βιβλιογραφία, αδυνατούν να επιλύσουν ένα μοντέλο με πάνω από 2 εκατομμύρια μη γραμμικές εξισώσεις. Το μοντέλο στην πλήρη διάστασή του αποτελείται από ένα σύστημα 616,000 μη γραμμικών εξισώσεων. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ανοίγει το δρόμο για προσομοιώσεις με μεγαλύτερο ρεαλισμό, αφού μπορεί να μεγαλώσει αρκετά τη διάσταση του μοντέλου. Στο πλαίσιο της διατριβής αναπτύχθηκε, επίσης, η βάση δεδομένων του μοντέλου σε πλήρη κλίμακα, καθώς επίσης τυποποιήθηκε η μορφή των αριθμητικών εκθέσεων που παράγονται από το μοντέλο. Επίσης, αναπτύχθηκε ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη για τις προσομοιώσεις του μοντέλου. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε καλύπτει την περίοδο 2004-2050, επιλύεται ταυτόχρονα για όλες τις οικονομίες και για πολλούς κλάδους της οικονομίας για κάθε έτος επιλογής. Επίσης, κατασκευάστηκε αλγόριθμος για τη δυναμική προσαρμογή του μοντέλου, ο οποίος προσαρμόζει τα αποτελέσματα του μοντέλου σε μελλοντικές προεκτάσεις, οι οποίες αφορούν οικονομικούς, ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς δείκτες, με βασικότερους το ΑΕΠ και τα συστατικά του, την απασχόληση, την κλαδική δραστηριότητα, την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας και, τέλος, την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

Η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε με γνώμονα τα ερωτήματα πολιτικής που τέθηκαν και οδήγησαν σε μια σειρά από επεκτάσεις που ενσωματώθηκαν στο μοντέλο GEME3. Οι επεκτάσεις που υλοποιήθηκαν αφορούν στην ενσωμάτωση της τεχνολογικής προόδου ενδογενώς στο μοντέλο και την αναλυτική αναπαράσταση του ενεργειακού τομέα, με σκοπό να εξεταστούν πιθανά αναπτυξιακά οφέλη της ΕΕ στην πρωτοπόρα δράση της για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω των ενεργειακών καινοτομιών (GEME3-RD). Επίσης, αφορούν στη λεπτομερή αναπαράσταση του κλάδου των μεταφορών, με σκοπό την εξέταση ερωτημάτων οικονομικής, ενεργειακής πολιτικής, ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας αναφορικά με τη βαθιά μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GEME3-T). Τέλος, αφορούν στην κατασκευή ενός μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με αναλυτική αναπαράσταση του χρηματοπιστωτικού τομέα, με σκοπό τη βελτίωση των μηχανισμών χρηματοδότησης του μοντέλου σε σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας (GEME3-FIN). Οι πολιτικές αξιολογούνται με βάση τις επιπτώσεις τους

στο ΑΕΠ, στο δείκτη ισοδύναμης μεταβολής, και στις συνολικές εκπομπές στις χώρες/περιοχές στο υποεξέταση σενάριο.

Το βασικό ερώτημα το οποίο ερευνά η διατριβή είναι αν οι ενεργειακές καινοτομίες μπορούν να αποτελέσουν μοχλό για οικονομική ανάπτυξη και, αν ναι, κάτω από ποιες προϋποθέσεις. Η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η συμβολή της διατριβής έγκειται (i) στην ανάπτυξη εφαρμοσμένου πολυτομεακού δυναμικού μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας, το οποίο καλύπτει όλες τις χώρες του κόσμου και ενσωματώνει πρωτότυπα χαρακτηριστικά, (ii) στην ανάπτυξη και εφαρμογή ενός πρωτότυπου αλγορίθμου επίλυσης μεγάλης κλίμακας μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας και (iii) στην διερεύνηση των οικονομικών επιπτώσεων και των πιθανών ωφελειών για την ΕΕ σε περίπτωση πρωτοπόρας δράσης της στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι ιδιότητες του μοντέλου οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην επιλογή του για την εκπόνηση μελετών που υποστήριξαν πρόσφατες μεγάλες πρωτοβουλίες πολιτικής της ΕΕ.

Λέξεις-κλειδιά: Μετριασμός της κλιματικής αλλαγής, η μακροοικονομική εκτίμηση των καθαρών προς το περιβάλλον ενεργειακών τεχνολογιών, οικονομική μεγέθυνση, τεχνολογική πρόοδο, επαναληπτική μέθοδος επίλυσης, υπολογιζόμενη γενική ισορροπία.

Abstract

The subject of this thesis focuses on the development and implementation of a state-of-the-art dynamic computable general equilibrium model with endogenous technological progress. The aim of the development of the proposed model, called GEME3-RD, is the more detailed endogenous representation of technological progress, which contributes to a more detailed analysis of the impact the transformation of the energy system has on industry and economy in order to drastically reduce carbon emissions and prevent / limit climate change globally. Therefore, this model includes all the countries of the world aggregated into groups/regions. Also, it includes all goods and service industries in detail, as well as the representation of energy technologies and the economic system.

The theoretical background of the proposed model combines the theory of general equilibrium, endogenous growth, discrete choice, mathematical modeling and algorithms for the solution of nonlinear systems. The modeling represents the behavior of each economic agent (households, businesses and the public sector), as a result of the optimization of utility or minimization of cost under technical and economic constraints. These economic agents make their decisions based on myopic expectations, while there is an additional option to simulate their behaviour depending on rational expectations. The simulation of households' decisions regarding their choice of durable consumer goods (e.g. automotive, electrical equipment, etc.) is based on discrete choice theory, which is suitable for representing decisions when there is a significant heterogeneity among decision makers. The model developed in the thesis, as a general equilibrium model, is able to capture the multiple interactions between all markets of the economic system and simulate consistently the mechanisms that determine the allocation of resources, activity and income.

The model is constructed as a system of nonlinear equations, formulated as a mixed complementarity problem (MCP), which aims to calculate the simultaneous balance of markets in all countries / regions. Countries / regions are linked by bilateral trade, which are endogenously calculated. The design of the model was executed in the GAMS environment and the available nonlinear programming algorithms or the proposed algorithm of this thesis are used for its programming resolution.

The proposed algorithm can be used to solve large-scale computable general equilibrium models (with more than five million non-linear equations), when algorithms in the literature so far have failed to resolve a model with more than 2 million non-linear equations. The model in its full dimension consists of a 616,000 nonlinear equations system. The proposed algorithm introduces more realistic simulations, since it can enhance considerably the model's dimension. As part of the thesis, the database of the model was developed in full scale, and the numerical reports produced by the model were standardized. Moreover, a user friendly environment was developed for the model simulations. The model covers the period 2004-2050 and is simultaneously solved for all economies and all economic sectors for each year. For the dynamic adjustment of the model, an algorithm was constructed, which adjusts the output of the model for future extensions, related to economic, energy and environmental indicators, among which the most basic are GDP and its components, employment, industrial activity, consumption, energy production and, finally, emission of greenhouse gases.

The development of the model was based on policy-related questions that led to a sequence of extensions incorporated in GEME3 model. The implemented extensions concern the integration of technological progress endogenously in the model and the analytical representation of the energy sector in order to examine the possible development benefits for the EU through its pioneering action to tackle climate change through energy innovations (GEME3-RD). Also, they are related to the detailed representation of the transport sector in order to examine the impacts of the deep reduction of GHG emissions on economy, energy, growth and competitiveness (GEME3-T). Finally, they concern the construction of a general equilibrium model with an analytical representation of the financial sector in order to improve the financing mechanisms of the model for energy efficiency scenarios (GEME3-FIN). Policies are evaluated based on the impact of alternative scenarios on GDP, the equivalent change indicator and the total emissions in these countries / regions.

The key question examined in the current thesis is whether energy innovations can be a lever for economic development and, if so, under which conditions. The research mainly focuses on the European Union member states. The contribution of this thesis lies on (i) the development of an applied multi-sectoral dynamic computable general equilibrium model, which covers all the countries of the world including novel features, (ii) the development and implementation of an original algorithm of solving large scale computable general equilibrium models and (iii) the investigation of the economic impacts and potential benefits for the EU in

the event of its pioneering action to tackle climate change. These features of the model led the European Commission in its selection for conducting studies that support recent EU's major energy, climate and technology policy initiatives.

Keywords: Climate Change Mitigation, macroeconomic assessment of environmentally clean energy technologies, economic growth, technological progress, iterative solution methods, computable general equilibrium.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	12
1. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	23
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	24
1.3. ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ-ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	24
1.3.1. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	25
1.3.2. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ: ΠΡΩΤΟΤΥΠΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	26
1.4. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	27
2. Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ	29
2.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ.....	29
2.2. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ	32
2.3. ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	35
2.4. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	36
2.5. ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.....	37
2.6. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38
3. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMEZ-RD	40
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	40
3.2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	40
3.3. ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ	44
3.4. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	50
3.5. ΕΠΕΝΔΥΣΗ.....	57
3.6. ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ	60
3.7. ΤΙΜΕΣ	63
3.8. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΩΝ ΑΓΟΡΩΝ.....	64
3.9. ΘΕΣΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΛΛΑΓΕΣ, ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΤΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ WALRAS.....	66
3.10. ΚΑΝΟΝΕΣ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΤΙΜΗ (NUMAIRE)	68
3.11. ΕΞΑΝΤΛΗΣΙΜΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	69
3.12. ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	70
3.13. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΧΡΟΝΙΑ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ	70
3.14. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κεφαλαίου 3	74
3.14.1. ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ Κεφαλαίου	74
3.14.2. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	75
3.14.3. ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	77
3.14.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΩΝ ΑΓΑΘΩΝ ΤΟΥ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ	79
4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕ ΕΝΔΟΓΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟ GEMEZ-RD	80

4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	80
4.2.	ΚΛΑΔΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΠΡΟΣΦΟΡΑ)	81
4.3.	ΚΛΑΔΟΙ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	82
4.4.	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΟ GEMEZ-RD.....	85
4.5.	ΚΛΑΔΟΙ ΜΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ (ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΟΙ ΚΛΑΔΟΙ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ).....	94
4.6.	ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΕ ΈΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	109
4.7.	ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΑΞΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	110
4.8.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	112
5.	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΣΤΟ GEMEZ-RD.....	114
5.1.	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	114
5.1.1.	ΕΠΙΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ.....	116
5.1.2.	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ	127
5.1.3.	ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	129
5.2.	ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ	130
5.2.1.	ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ	130
5.2.2.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ.....	136
5.3.	ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	140
5.4.	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	142
5.5.	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	145
5.5.1.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	146
6.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	149
6.1.	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	149
6.2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	150
6.3.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ GEMEZ	154
6.3.1.	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	158
6.3.2.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ	159
6.3.3.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ	163
6.3.4.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΤΟΜΕΑ	165
6.3.5.	ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑ	166
6.3.6.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ	167
6.3.7.	ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ	168
6.3.8.	ΝΥΜΕΡΑΙΡΕ	169
6.3.9.	ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΛΛΑΓΕΣ	170
6.3.10.	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΤΟΥ ΧΡΕΟΥΣ	171
6.3.11.	ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	171
6.4.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ	172
6.5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	173
7.	ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	174
7.1.	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	174
7.2.	ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	177
7.3.	ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	177
7.3.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	177

7.3.2.	ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	177
7.3.3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	181
7.4.	ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΕΣ	184
7.4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	184
7.4.2.	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ DCGE ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΔΟΚΙΩΝ ΣΤΟ GEMEZ	185
8.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEMEZ-RD	189
8.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	189
8.2.	ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	189
8.2.1.	ΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	191
8.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEMEZ-RD	194
8.3.1.	ΦΟΡΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (1 ^Η ΟΜΑΔΑ)	194
8.3.1.1.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	194
8.3.1.2.	ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	197
8.3.1.3.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ Η ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	204
8.3.1.4.	ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	208
8.3.2.	ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ LEARNING RATES (2 ^Η ΟΜΑΔΑ)	214
8.3.2.1.	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	215
8.3.2.2.	ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	217
8.3.3.	ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΣΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΜΠΟΡΙΟ (3 ^Η ΟΜΑΔΑ).....	219
8.3.3.1.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	220
8.3.3.2.	ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	225
8.3.4.	ΧΩΡΙΣ ΤΟΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΕΝΔΟΓΕΝΟΥΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ (4 ^Η ΟΜΑΔΑ).....	227
8.3.4.1.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	228
8.3.4.2.	ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	230
8.4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	232
9.	ΤΑ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΈΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΩΤΟΠΟΡΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	234
9.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	234
9.2.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	238
9.3.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΙ	240
9.4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEMEZ-RD	241
9.4.1.	ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	241
9.4.2.	ΈΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	242
9.4.3.	ΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	243
9.4.4.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΤΟΜΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	247
9.4.5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	249
9.5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	250
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	253
10.1.	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	253
10.2.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	254

10.3.	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ	257
10.4.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	263

Κατάλογος σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 3-1:	ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	44
ΣΧΗΜΑ 3-2:	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD	45
ΣΧΗΜΑ 3-3:	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ GEME3-RD	51
ΣΧΗΜΑ 3-4:	ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ	60
ΣΧΗΜΑ 3-5:	ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΑΓΑΘΟΥ	61
ΣΧΗΜΑ 3-6:	Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEME3-RD	73
ΣΧΗΜΑ 3-7:	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΑΔΟ ΤΟΥ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	77
ΣΧΗΜΑ 3-8:	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ	78
ΣΧΗΜΑ 4-1:	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΟ GEME3-RD	81
ΣΧΗΜΑ 4-2:	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΟ GEME3-RD	82
ΣΧΗΜΑ 4-3:	ΣΠΑΣΙΜΟ ΚΛΑΔΩΝ ΣΤΟ GEME3-RD	83
ΣΧΗΜΑ 4-4:	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ FLOOR COST (ΔΗΛΑΔΗ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΟΡΙΟ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΟΤΑΝ ΞΕΠΕΡΑΣΤΕΙ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ)	93
ΣΧΗΜΑ 4-5:	ΣΤΑΔΙΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ	95
ΣΧΗΜΑ 5-1:	ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ	118
ΣΧΗΜΑ 5-2:	ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	128
ΣΧΗΜΑ 5-3:	ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	129
ΣΧΗΜΑ 5-4:	ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΨΥΞΗ	131
ΣΧΗΜΑ 5-5:	ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	137
ΣΧΗΜΑ 5-6:	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	143
ΣΧΗΜΑ 5-7:	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	144
ΣΧΗΜΑ 7-1:	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΜΝΗΜΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΚΑΘΕΤΟΣ ΑΞΟΝΑΣ) ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΑΞΟΝΑΣ), ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ PATH ΚΑΙ KARK METHOD	183
ΣΧΗΜΑ 7-2:	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΚΑΘΕΤΟΣ ΑΞΟΝΑΣ) ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΑΞΟΝΑΣ), ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ PATH ΚΑΙ KARK METHOD	183
ΣΧΗΜΑ 8-1:	ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	196
ΣΧΗΜΑ 8-2:	ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (IMPLIED MACC)	196
ΣΧΗΜΑ 8-3:	ΈΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΟ 2050 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ 2010 (Ο ΑΞΟΝΑΣ ΤΟΥ Υ) ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ 2050 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ 2010 (Ο ΑΞΟΝΑΣ ΤΟΥ Χ)	197
ΣΧΗΜΑ 8-4:	ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΠ ΣΤΗΝ EU28 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	198
ΣΧΗΜΑ 8-5:	ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ EU28	199
ΣΧΗΜΑ 8-6:	ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ CCS ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ EU28	199
ΣΧΗΜΑ 8-7:	ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ EU28	200
ΣΧΗΜΑ 8-8:	ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	201
ΣΧΗΜΑ 8-9:	ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕ ΜΕΣΑ ΜΑΖΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ EU28	201

ΣΧΗΜΑ 8-10: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΡΚΗ ΑΓΑΘΑ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΨΥΞΗ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ (ΣΕ ΒΝ. € 05)	203
ΣΧΗΜΑ 8-11: ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ	204
ΣΧΗΜΑ 8-12: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΕΕ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	205
ΣΧΗΜΑ 8-13: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΕΕ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	206
ΣΧΗΜΑ 8-14: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2050 (ΣΕ ΒΝ € 05)	207
ΣΧΗΜΑ 8-15: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΕ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΕ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2050.	208
ΣΧΗΜΑ 8-16: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2050 (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ)	210
ΣΧΗΜΑ 8-17: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΑΕΠ ΤΗΣ ΕΥ28 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	212
ΣΧΗΜΑ 8-18: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ 2010-2050)	213
ΣΧΗΜΑ 8-19: ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΕΠ ΤΗΣ ΕΕ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΑΞΟΝΑΣ) ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΑΝΘΡΑΚΑ (ΚΑΘΕΤΟΣ ΑΞΟΝΑΣ).....	213
ΣΧΗΜΑ 8-20: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥ28 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ REF+200 (DEFAULT).....	215
ΣΧΗΜΑ 8-21: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	216
ΣΧΗΜΑ 8-22: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	216
ΣΧΗΜΑ 8-23: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	217
ΣΧΗΜΑ 8-24: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΡΥΘΜΩΝ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2050 (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ)	218
ΣΧΗΜΑ 8-25: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΑΕΠ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ REF+200 ΚΑΙ ΚΑΘΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	218
ΣΧΗΜΑ 8-26: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ REF+200 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ 2010-2050).....	219
ΣΧΗΜΑ 8-27: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ARMINGTON ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	221
ΣΧΗΜΑ 8-28: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΙΣ ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΤΙΣ ΕΥ28 ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ DEFAULT ΣΕΝΑΡΙΟ(ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ 2010-2050 ΣΕ ΒΝ € 05)	222
ΣΧΗΜΑ 8-29: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ARMINGTON ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ REF+200 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	222
ΣΧΗΜΑ 8-30: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥ28 ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ REF+200 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ARMINGTON ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΤΙΣ DEFAULT ΤΙΜΕΣ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΕ ΒΝ € 05)	223
ΣΧΗΜΑ 8-31: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	224
ΣΧΗΜΑ 8-32: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	224

ΣΧΗΜΑ 8-33: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΥ28 ΧΩΡΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	225
ΣΧΗΜΑ 8-34: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ARMINGTON (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ 2020-2050)	226
ΣΧΗΜΑ 8-35: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΑΕΠ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ REF+200 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ARMINGTON	226
ΣΧΗΜΑ 8-36: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ 2010-2050) ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ARMINGTON ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ REF+200 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	227
ΣΧΗΜΑ 8-37: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΟ 2010 ΕΩΣ 2050).....	229
ΣΧΗΜΑ 8-38: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥ28 ΣΤΑ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΑ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΕ ΒΝ. € 05).....	230
ΣΧΗΜΑ 8-39: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΑΕΠ ΤΗΣ ΕΥ28 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΑ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	231
ΣΧΗΜΑ 8-40: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΟ 2010 ΕΩΣ 2050).....	232
ΣΧΗΜΑ 9-1: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΔΟΓΕΝΟΥΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ «ΜΟΝΟ Η ΕΕ».....	245

Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1: ΔΕΙΚΤΕΣ, ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEME3-RD.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2: ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4: ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΣΟΔΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΚΑΘΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-6: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-7: ΤΟΜΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-8: ΛΙΣΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΓΑΘΑ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1: ΤΟΜΕΙΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD.....	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2: ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΟ GEME3-RD	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3: ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΑΞΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD.....	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4: ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΑΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEME3-RD	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5: ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7: ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8: ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΑΞΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEME3-RD	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1: ΔΕΙΚΤΕΣ, ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΣΚΟΠΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΪΟΝ	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3: ΔΕΙΚΤΕΣ, ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΣΚΟΠΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΪΟΝ (ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ).....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΣΚΟΠΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΪΟΝ (ΓΙΑ ΤΗΝ 3 ^η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ).....	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6: Όλες οι κατηγορίες κατανάλωσης (ανά σκοπό) του νοικοκυρίου	138

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7: ΔΟΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMΕ3-RD	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8: ΚΛΑΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMΕ3-RD	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ FCGE.....	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΡΟΩΝ ΤΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	155
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ GAUSS - SEIDEL.....	178
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΡΑΤΗ SOLVER ΜΕ ΑΡΧΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ (KARK METHOD) ΜΕ ΑΡΧΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ $O(10^{-2})$	182
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ (KARK METHOD) ΜΕ ΑΡΧΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΑΚΡΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΥΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.	182
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-1: ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΕΠ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	190
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-2: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΓΤΝ CO_2	191
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-3: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMΕ3-RD ΤΟ 2010 (ΣΕ ΒΝ. € 2005)	192
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-4: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2010-2050 (ΣΕ ΒΝ. € 2005) ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.	192
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-5: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΕ ΑΝΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	193
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-6: ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	194
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-7: ΡΥΘΜΟΙ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	214
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-1: ΥΠΟΘΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMΕ3-RD.....	241
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-2: ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GEMΕ3-RD	242
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-3: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ «ΜΟΝΟ Η ΕΕ»	245
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-4: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ «ΌΛΟΙ ΜΕΤΑ ΤΟ 2030» ΚΑΙ «Η ΕΕ ΠΡΩΤΟΠΟΡΟΣ» .	246
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-5: ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΕ	247
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-6: ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΕ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΩΡΕΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2050	248
ΠΙΝΑΚΑΣ 9-7: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ (%) ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΩΡΕΥΤΙΚΟΥ ΑΕΠ ΣΕ ΚΑΘΕΜΙΑ ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ «Η ΕΕ ΠΡΩΤΟΠΟΡΟΣ» ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ «ΌΛΟΙ ΜΑΖΙ ΜΕΤΑ ΤΟ 2030».....	250

Κατάλογος κυριότερων συμβόλων

<u>Συμβολισμός</u>	<u>Επεξήγηση</u>
CCS	Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα (<i>Carbon Capture and Storage</i>)
CGE	Υπολογιζόμενη Γενική Ισορροπία (<i>Computable General Equilibrium</i>)
CO ₂	Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα
ETS	Αγορά των Δικαιωμάτων Εκπομπών
FCGE	Μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με ενσωματωμένη την αγορά του χρήματος
IAMS	Ολοκληρωμένα Μοντέλα Εκτίμησης (<i>Integrated Assessment Models</i>)
MACC	Καμπύλες Οριακού Κόστους Μείωσης των εκπομπών (<i>Marginal Abatement Cost Curve</i>)
UNFCCC	Συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Ε&Α	Έρευνας και Ανάπτυξης

Κεφάλαιο 1

1. Διατύπωση Ερευνητικού Προβλήματος

1.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η κλιματική αλλαγή έχει αναδειχθεί ως μια από τις μεγάλες παγκόσμιες προκλήσεις πολιτικής. Η Συμφωνία του Παρισιού² στο τελευταίο συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) τον Δεκέμβριο του 2015 αποτελεί ιστορικό ορόσημο του παγκόσμιου αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. Η Συμφωνία οδηγεί στην αυξανόμενη χρήση καθαρών πηγών ενέργειας παγκοσμίως, στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και παρέχει μια σαφή και φιλόδοξη πορεία δράσης για την καινοτομία, όσον αφορά τις τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Για τη μετάβαση στην χρήση καθαρών πηγών ενέργειας απαιτούνται παρεμβάσεις σε διάφορους τομείς πολιτικής. Η εκτίμηση του κόστους και των ωφελειών των κλιματικών πολιτικών στο οικονομικό και ενεργειακό σύστημα, στην υγεία και στη βελτίωση των συνθηκών ζωής αποτελεί ένα ευρύ πεδίο έρευνας. Τα μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (Computable General Equilibrium Models - CGEs) χρησιμοποιούνται εκτενώς για την ποσοτική εκτίμηση των συνεπειών των κλιματικών και ενεργειακών πολιτικών στην οικονομία, την απασχόληση και την ανταγωνιστικότητα. Τα υπολογιζόμενα μοντέλα γενικής ισορροπίας είναι σε θέση να αποτυπώσουν τις πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ όλων των αγορών ενός οικονομικού συστήματος και να προσομοιώσουν με συνέπεια τους μηχανισμούς που καθορίζουν την κατανομή των πόρων, της δραστηριότητας και των εισοδημάτων. Τα αποτελέσματά τους, όμως, εξαρτώνται από τις παραδοχές για την τεχνολογική μεταβολή (Buonanno, Carraro, and Galeotti 2003).

Για τον λόγο αυτό, τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι έρευνες στο χώρο των μοντέλων γενικής ισορροπίας έχουν επικεντρωθεί στην ενδογενοποίηση της τεχνολογικής μεταβολής. Κάποια από τα πρώτα υπολογιζόμενα μοντέλα γενικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο είναι των (A. Fougeyrollas, Le Mouél, and Zagame 2001) και (Löschel 2002). Η ενσωμάτωση της τεχνολογικής προόδου

² (EC 2016): COM(2016) 110 final: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-110-EN-F1-1.PDF>

ενδογενώς σε μοντέλο γενικής ισορροπίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αναπαράσταση του συστήματος ενέργεια-περιβάλλον-οικονομία και για τον ακριβή υπολογισμό του κόστους των κλιματικών πολιτικών.

1.2. Σκοπός της διατριβής

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή πρωτότυπου μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο, με έμφαση στις ενεργειακές τεχνολογίες, με την ονομασία GEME3-RD. Το μοντέλο αυτό αποτελεί μια επέκταση του μοντέλου του GEME3 που είχε αναπτυχθεί από τον (Pantelis Carpos 1997). Η ανάπτυξη του νέου μοντέλου έχει ως σκοπό την αναλυτικότερη μοντελοποίηση της τεχνολογικής προόδου που συμβάλλει στην καλύτερη ανάλυση των επιπτώσεων στη βιομηχανία και την οικονομία που θα έχει ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος, ώστε να μειωθούν δραστικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να αποτραπεί/περιοριστεί η κλιματική αλλαγή σε παγκόσμιο επίπεδο. Για το λόγο αυτό το μοντέλο έχει παγκόσμια εμβέλεια και περιλαμβάνει όλες τις χώρες συναθροισμένες σε ομάδες. Περιλαμβάνει, επίσης, όλους τους κλάδους παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών στην οικονομία με αρκετή λεπτομέρεια, καθώς και αναπαράσταση των ενεργειακών τεχνολογιών και του οικονομικού συστήματος. Οι κλάδοι των νέων τεχνολογιών αναπαρίστανται σε μεγάλη ανάλυση, ενώ ιδιαίτερη έμφαση και λεπτομέρεια δίνεται στις νέες τεχνολογίες των μεταφορών (ηλεκτρικά οχήματα) και των καθαρών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς επίσης και οι τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας. Στο μοντέλο περιλαμβάνεται κλάδος Έρευνας και Ανάπτυξης, ο οποίος παρέχει καινοτόμες τεχνολογίες στους λοιπούς κλάδους. Το βασικό ερώτημα για το οποίο ερευνά η διατριβή είναι αν οι ενεργειακές καινοτομίες μπορούν να αποτελέσουν μοχλό για οικονομική ανάπτυξη και αν ναι κάτω από ποιες προϋποθέσεις, και ειδικά για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η αναπαράσταση της καινοτομίας και των οικονομικών μηχανισμών ενδογενούς μεταβολής ακολουθούν τα θεωρητικά μοντέλα ενδογενούς ανάπτυξης των Romer, Aghion και άλλων, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που αναπτύχθηκε μετά το 1990.

1.3. Πρωτοτυπία-Συνεισφορά της διατριβής

Η κύρια πρωτότυπη συνεισφορά της διατριβής έγκειται στην ενσωμάτωση της τεχνολογικής προόδου ενδογενώς σε ένα μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής οικονομικής ισορροπίας και η εφαρμογή του για την εξέταση πολιτικών που αφορούν τις οικονομικές επιπτώσεις της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Στην βιβλιογραφία ήδη αναφέρονται αρκετά άρθρα σχετικά με την ενσωμάτωση της

τεχνολογικής προόδου σε μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με ελλειπή ή χωρίς αναλυτική αναπαράσταση των ενεργειακών τεχνολογιών. Για την εξέταση αυτών των εφαρμογών απαιτήθηκε η επέκταση του αρχικού μοντέλου GEME3, το οποίο αποτέλεσε την βάση για το νέο μοντέλο GEME3-RD. Η πρώτη προσπάθεια για ενδογενοποίηση της τεχνολογικής μεταβολής στο GEME3 έγινε στα πλαίσια του έργου TECH-GEM (2002), (Arnaud Fougeyrollas, Le Mouël, and Zagamé 2005). Σε αυτή την αρχική έκδοση, η τεχνολογική πρόοδος ήταν ενσωματωμένη στην συνάρτηση παραγωγής ως συντελεστής συνολικής παραγωγικότητας. Στην παρούσα διατριβή αντιθέτως, η τεχνολογική πρόοδος ενσωματώθηκε σε κάθε συντελεστή παραγωγής είτε μειώνοντας το κόστος παραγωγής (process innovation), είτε αυξάνοντας την ποιότητα των προϊόντων (product innovation).

Παρακάτω παρουσιάζεται η πρωτοτυπία και η συνεισφορά της διατριβής στην επιστήμη. Οι πρωτοτυπίες διακρίνονται τόσο με βάση το μεθοδολογικό πλαίσιο που εφαρμόζεται η έρευνα, όσο και αναφορικά με την εμπειρική ανάλυση, καθώς και τα ερωτήματα οικονομικής και ενεργειακής πολιτικής που απαντώνται μέσω της εφαρμογής του μοντέλου.

1.3.1. Συνεισφορά στο μεθοδολογικό πλαίσιο: Μοντελοποίηση

Το μοντέλο GEME3-RD φέρει σημαντικά στοιχεία πρωτοτυπίας σε σχέση με άλλες προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία³.

Τα κύρια σημεία πρωτοτυπίας και συνεισφοράς στη βιβλιογραφία, αναφορικά με το *μεθοδολογικό πλαίσιο*, συνοψίζονται ως εξής:

- Κατασκευή μοντέλου υπολογιζόμενης οικονομικής γενικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο.
- Εισαγωγή μηχανισμών διάχυσης/διάδοσης της γνώσης.
- Διάκριση δημόσιας και ιδιωτικής δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη.
- Αναλυτική αναπαράσταση των οικονομικών παραγωγής νέων προηγμένων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (κατασκευή ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, δέσμευση διοξειδίου άνθρακα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ηλεκτρικών αυτοκινήτων και προηγμένων οικιακών συστημάτων και συσκευών Α ενεργειακής κλάσης).
- Αναλυτική αναπαράσταση του τομέα των μεταφορών ενσωματώνοντας την ετερογένεια στην συμπεριφορά των νοικοκυριών σχετικά με την επιλογή νέων τεχνολογιών αυτοκινήτων (ηλεκτρικών).

³ Η επισκόπηση της βιβλιογραφίας πραγματοποιείται στο Κεφάλαιο 2.

- Αναλυτική αναπαράσταση του τομέα ηλεκτροπαραγωγής, της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές με την χρήση νέων βελτιωμένων τεχνολογιών και του τομέα παραγωγής βιοκαυσίμων.
- Ανάπτυξη μοντέλου χρηματοδότησης της οικονομίας και των επενδύσεων και ενσωμάτωση του μοντέλου αυτού στο μοντέλο γενικής οικονομικής ισορροπίας.
- Βελτίωση των δυναμικών μηχανισμών του υποδείγματος και κωδικοποίηση αλγορίθμου επίλυσης με βάση τις ορθολογικές προσδοκίες (rational expections) των αποφασιζόντων.
- Ανάπτυξη και πειραματική εφαρμογή επαναληπτικού αλγορίθμου για την επίλυση μεγάλης κλίμακας υποδείγματος υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας.

1.3.2. Συνεισφορά στην επιστήμη της οικονομικής μεγέθυνσης: Πρωτότυπες εφαρμογές

Η συνεισφορά της παρούσας διατριβής έγκειται, επιπλέον, στη διερεύνηση συγκεκριμένων ερωτημάτων οικονομικής πολιτικής και οικονομικής ανάλυσης. Η διερεύνηση πραγματοποιείται με τη χρήση και εφαρμογή του μοντέλου σε πραγματικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι φορείς χάραξης πολιτικής, ιδίως σε θέματα πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται:

- Ανάλυση των επιπτώσεων στην ανταγωνιστικότητα και την τεχνολογική μεταβολή από ενδεχόμενη μονομερή προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για δραστική μείωση των εκπομπών. Η εφαρμογή παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 9 της διατριβής.
- Διερεύνηση συνθηκών που θα ευνοούσαν βιομηχανική ανάπτυξη στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως πρωτοπόρου στην ανάπτυξη προηγμένων και καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών. Η εφαρμογή παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 9 της διατριβής.
- Διερεύνηση των επιπτώσεων της τεχνολογικής μεταβολής κατά τομέα, με έμφαση στις μεταφορές, στην ηλεκτροπαραγωγή με την εισαγωγή των ΑΠΕ και στην τελική κατανάλωση με την εισαγωγή τεχνολογιών και πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας.
- Εξέταση επιπτώσεων των κλιματικών πολιτικών στην οικονομική δραστηριότητα ανά κλάδο, στην απασχόληση και στο διεθνές εμπόριο (μέσω της μεταβολής της ανταγωνιστικότητας των οικονομιών).

1.4. Δομή της διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει τα εξής δέκα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διατριβής παρουσιάζονται το αντικείμενο έρευνας, η συνεισφορά της διατριβής και τα επιτεύγματά της, τόσο στην έρευνα όσο και κατά την εφαρμογή του μοντέλου.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τις βασικές έννοιες της μοντελοποίησης της ενδογενούς τεχνολογικής μεταβολής και προβαίνει σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την οικονομική μεγέθυνση και την ενδογενή τεχνολογική πρόοδο.

Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη βασική δομή του νέου μοντέλου ενδογενούς τεχνολογικής προόδου, GEME3-RD το οποίο κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, και στην προσαρμογή του σε στατιστικά δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν από διεθνείς βάσεις δεδομένων.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει με λεπτομέρεια ειδικά τμήματα του μοντέλου που αποτελούν το πρωτότυπο μεθοδολογικό κομμάτι της διατριβής. Συγκεκριμένα, τα τμήματα αυτά αφορούν στην εισαγωγή κλάδου που παρέχει υπηρεσίας Έρευνας και Ανάπτυξης, συναρτήσεις ζήτησης για Έρευνα και Ανάπτυξη, στους μηχανισμούς διάδοσης/διάχυσης της γνώσης, τη διάκριση μεταξύ ιδιωτικής και δημόσιας δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη, και τους διαφορετικούς τρόπους χρηματοδότησης της Έρευνας και Ανάπτυξης των επιχειρήσεων, όπως αποτυπώνονται στο μοντέλο.

Το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην αναπαράσταση του τομέα της ενέργειας στο οικονομικό μοντέλο γενικής ισορροπίας. Περιλαμβάνονται μοντέλα για τον τομέα των μεταφορών, την εισαγωγή ετερογένειας στην συμπεριφορά των νοικοκυριών στην επιλογή οχημάτων, εφαρμόζοντας την θεωρία διακριτής επιλογής, τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής με έμφαση σε τεχνολογίες ΑΠΕ, την ενσωμάτωση στην μοντελοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές και του τομέα παραγωγής βιοκαυσίμων.

Το έκτο κεφάλαιο παρουσιάζει το σχεδιασμό και τη κατασκευή του χρηματοπιστωτικού μοντέλου και την ενσωμάτωσή του στο μοντέλο γενικής ισορροπίας, με έμφαση στους μηχανισμούς χρηματοδότησης επενδύσεων.

Το έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζει πρωτότυπο αλγόριθμο αριθμητικής επίλυσης του μοντέλου ως μαθηματικό πρόβλημα μεικτής μη-γραμμικής συμπληρωματικότητας σε μεγάλη κλίμακα. Παρουσιάζεται, επίσης, η μέθοδος

εισαγωγής στο μοντέλο δυναμικής επίλυσης με βάση τη θεωρία ορθολογικών προσδοκιών.

Το όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζει εφαρμογή του μοντέλου στην ποσοτική εκτίμηση σεναρίου αναφοράς για την περίοδο 2015-2050, καθώς και ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με βασικές παραμέτρους του μοντέλου.

Το ένατο κεφάλαιο παρουσιάζει εφαρμογές του μοντέλου σε θέματα που αφορούν τη διερεύνηση τυχόν αναπτυξιακού και βιομηχανικού οφέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως πρωτοπόρου διεθνώς στην πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το δέκατο κεφάλαιο περιλαμβάνει γενικά συμπεράσματα από την έρευνα στα πλαίσια της διατριβής και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο.

Κεφάλαιο 2

2. Η μοντελοποίηση της τεχνολογικής προόδου: Επισκόπηση των μεθοδολογικών προσεγγίσεων

Ο σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της βιβλιογραφικής έρευνας αναφορικά με τους τρόπους μοντελοποίησης της τεχνολογικής προόδου. Αρχικά, παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και η σημασία της μοντελοποίησης της τεχνολογικής προόδου και έπειτα γίνεται μια σύνοψη των μεθόδων της βιβλιογραφίας.

2.1. Βασικές έννοιες και σημασία της μοντελοποίησης της τεχνολογικής προόδου⁴

Το 1956 αναπτύχθηκε, ταυτόχρονα και ανεξάρτητα, από τους (R. M. Solow 1956) και (Swan 1956) το πιο απλό δυναμικό υπόδειγμα γενικής ισορροπίας, το λεγόμενο “απλό νεοκλασικό υπόδειγμα εξωγενούς οικονομικής μεγέθυνσης” ή υπόδειγμα Solow-Swan. Στο μοντέλο Solow-Swan η τεχνολογική μεταβολή αυξάνεται εξωγενώς. Αυτό σημαίνει ότι η τεχνολογία αναπτύσσεται με ρυθμό που ορίζεται από το «χέρι» του ερευνητή. Είναι σύνηθες η επιλογή της τιμής αυτής να στηρίζεται σε μια οικονομετρική εκτίμηση.

Ο (Romer 1990) είχε αντιρρήσεις σε αυτή την απλοϊκή προσέγγιση. Υποστήριξε ότι ένα μοντέλο, για να αναπαριστά με ρεαλιστικό τρόπο την οικονομική μεγέθυνση, θα πρέπει να έχει έναν μηχανισμό που να ενσωματώνει ενδογενώς την τεχνολογική πρόοδο. Η προσέγγιση του Romer υποθέτει ότι ένα μέρος του εργατικού δυναμικού απασχολείται στον τομέα της Έρευνας και Ανάπτυξης και αυτοί οι ερευνητές αναζητούν νέες ιδέες. Αυτές οι νέες ιδέες αυξάνουν το απόθεμα των γνώσεων και των ιδεών (**A**) στην οικονομία. Ως αποτέλεσμα, οι υπόλοιποι πρωτογενείς συντελεστές παραγωγής (κεφάλαιο και εργασία), γίνονται όλο και πιο παραγωγικοί. Η μεγέθυνση στο μοντέλο του Romer οδηγείται από την τεχνολογική μεταβολή που προκύπτει από τις επενδυτικές αποφάσεις που λαμβάνουν οι οικονομικοί παράγοντες για να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους.

Η τεχνολογική μεταβολή διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά την βελτίωση προϊόντων (product innovation), ενώ η δεύτερη αφορά βελτίωση της διαδικασίας του τρόπου παραγωγής (process innovation). Ο (J.

⁴ Μέρος της παρούσας παραγράφου βασίστηκε σε (Κατσουλάκος 2002) και (Rogers 2003)

Schumpeter 1942) διέκρινε τρία στάδια στη διαδικασία κάθε τεχνολογικής μεταβολής: το στάδιο της εφεύρεσης ή δημιουργίας νέων ιδεών (invention), το στάδιο της καινοτομίας (innovation), στο οποίο οι νέες ιδέες αναπτύσσονται σε εμπορεύσιμα νέα προϊόντα ή διαδικασίες παραγωγής και το στάδιο της διάχυσης των καινοτομιών στο οικονομικό σύστημα. Οι δαπάνες που απαιτούνται για κάθε στάδιο της τεχνολογικής προόδου καλύπτονται είτε από τις ίδιες τις επιχειρήσεις, είτε από το κράτος. Το αποτέλεσμα των δαπανών αυτών είναι ένα άυλο αγαθό (πατέντες), το οποίο χρησιμοποιείται μαζί με τους υπόλοιπους συντελεστές παραγωγής προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν της επιχείρησης.

Άλλες έννοιες που απασχολούν ευρέως την βιβλιογραφία είναι ο διαχωρισμός μεταξύ «επιστήμης» και «τεχνολογίας». Με το πρώτο στάδιο της τριλογίας του Schumpeter σχετίζεται η επιστήμη, ενώ με το δεύτερο η τεχνολογία. Πρόσφατες μελέτες των (Dasgupta and David 1991) υποστήριξαν ότι ο διαχωρισμός μεταξύ επιστήμης και τεχνολογίας πρέπει να γίνεται βάσει μιας τελείως διαφορετικής δομής κινήτρων (incentive structure). Πιο συγκεκριμένα, οι επιστήμονες παράγουν δημόσιο αγαθό (γνώση) και υποκινούνται από τη διάθεση για δημιουργία λαμβάνοντας ως αμοιβή τις δημοσιεύσεις. Ενώ, οι τεχνολόγοι υποκινούνται από το οικονομικό κέρδος από την χρήση των καινοτομιών, δαπανώντας χρήματα για να διατηρήσουν τα δικαιώματα ιδιοκτησίας για τις καινοτομίες αυτές, κατοχυρώνοντάς τες με διπλώματα ευρεσιτεχνίας.

Βασική έννοια αποτελεί, επίσης, η διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης (E&A). Η E&A διαχωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες: στη Βασική Έρευνα, στην Εφαρμοσμένη Έρευνα και στις επενδύσεις για Ανάπτυξη. Η Βασική Έρευνα σχετίζεται με το στάδιο της εφεύρεσης, η Εφαρμοσμένη Έρευνα με την καινοτομία, ενώ οι επενδύσεις σε Ανάπτυξη γίνονται για να διαμορφωθεί ένα νέο προϊόν ή διαδικασία παραγωγής. Το νέο προϊόν ή διαδικασία παραγωγής δεν προϋποθέτει απαραίτητα τη διαδικασία E&A, αλλά ο παραγωγός μπορεί να βελτιώσει τόσο την ποιότητα του προϊόντος του, όσο και την διαδικασία παραγωγής με άλλους τρόπους: είτε μέσα από την πράξη (learning), είτε με αντιγραφή (imitation), είτε με reverse engineering, είτε αγοράζοντας πατέντες από άλλες επιχειρήσεις.

Οι εταιρείες επενδύουν σε Έρευνα και Ανάπτυξη όχι μόνο για τη δημιουργία νέων προϊόντων ή παραγωγικών διαδικασιών, αλλά και για την ανάπτυξη και διατήρηση της ικανότητας αφομοίωσής τους, καθώς και για εκμετάλλευση εξωγενώς διαθέσιμων τεχνολογικών πληροφοριών. Ο διπλός αυτός ρόλος της E&A έχει τονιστεί από τους (Cohen and Levinthal 1989). Οι δαπάνες των επιχειρήσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη οφείλονται σε δύο κίνητρα. Το πρώτο κίνητρο είναι η αύξηση

κέρδους (σε περίπτωση που η εταιρεία δεν αντιμετωπίζει ανταγωνισμό) από τη δημιουργία μονοπωλιακού οφέλους. Το δεύτερο κίνητρο που αναγκάζει τις επιχειρήσεις να δαπανούν σε E&A είναι η επιθυμία τους για την απόκτηση στρατηγικού πλεονεκτήματος. Με μια καλύτερη παραγωγική διαδικασία ή ένα καλύτερο (ποιοτικότερο ή διαφοροποιημένο) προϊόν μπορούν να αυξήσουν το μερίδιο της εταιρείας στην αγορά. Επίσης, ένας άλλος λόγος που αναγκάζει τις επιχειρήσεις να επενδύσουν σε E&A είναι ο φόβος ότι θα χάσουν μερίδιο αγοράς αν οι ανταγωνιστές τους προβούν σε δαπάνες για E&A. Στην βιβλιογραφία αυτός ο «φόβος» αναφέρεται ως «ανταγωνιστική απειλή», ενώ το πόσο είναι διατεθειμένη η επιχείρηση να δαπανήσει σε E&A καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ των αποδόσεων της αν η εταιρεία επιτύχει να καινοτομήσει και των αποδόσεων της αν δεν το επιτύχει, αλλά μια ανταγωνίστριά της το κάνει. Με άλλα λόγια, είναι η απώλεια που υφίσταται η εταιρεία λόγω αδυναμίας διατήρησης της τρέχουσας θέσης της στην αγορά (βλέπε για λεπτομέρειες, (Beath, Katsoulacos, and Ulph 1995)).

Η διάχυση των καινοτομιών μεταξύ των επιχειρήσεων μειώνει σταδιακά το όφελος που απορρέει από τις επενδύσεις για τεχνολογική πρόοδο που υλοποιεί μία επιχείρηση (Z. Griliches 1979). Η διάδοση της γνώσης είναι μια αργή διαδικασία (Mansfield 1961). Όπως έχει διατυπώσει ο (Rogers 2003), η διάχυση των νέων τεχνολογιών ακολουθεί μία σιγμοειδή καμπύλη, όπου στον οριζόντιο άξονα ορίζεται ο χρόνος και στον κάθετο η διάχυση της τεχνολογίας. Η σιγμοειδής καμπύλη αντικατοπτρίζει: (i) βραχυπρόθεσμα τη σχετική δυσκολία αντιγραφής ή υιοθέτησης της νέας τεχνολογίας από τις επιχειρήσεις (για παράδειγμα, εκπαίδευση προσωπικού, αγορά ή τροποποίηση μηχανολογικού εξοπλισμού, χρονική διάρκεια πατέντας), (ii) μεσοπρόθεσμα την έντονη διάχυση και (iii) μακροπρόθεσμα τη σταθεροποίηση (όπου η τεχνολογία πλέον έχει ωριμάσει ή η αντίστοιχη αγορά έχει κορεσθεί). Ο (Rogers 2003) ορίζει τη διάχυση ως μια διαδικασία μέσω της οποίας μια καινοτομία γίνεται γνωστή μέσω ορισμένων διαύλων με την πάροδο του χρόνου στα μέλη ενός κοινωνικού συστήματος, ακολουθώντας μια διαδικασία αποτελούμενη από τα εξής πέντε βήματα: γνώση, πειθώ, απόφαση, υλοποίηση και, τέλος, επικύρωση. Το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό της θεωρίας της διάχυσης είναι ότι, για τα περισσότερα μέλη ενός κοινωνικού συστήματος, η απόφαση για καινοτομία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αποφάσεις για καινοτομία των άλλων μελών του συστήματος. Η απόφαση για καινοτομία γίνεται μέσω μιας ανάλυσης κόστους/οφέλους, όπου το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι η αβεβαιότητα.

2.2. Σύντομη ιστορική αναδρομή στη θεωρία της οικονομικής μεγέθυνσης⁵

Ως οικονομική μεγέθυνση (economic growth) ορίζεται η αύξηση των πραγματικών εκρών μιας οικονομίας στη διάρκεια του χρόνου, η οποία μετριέται με βάση την αύξηση είτε του πραγματικού Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ), είτε του κατά κεφαλήν εισοδήματος στη διάρκεια του χρόνου.

Με την θεωρία της οικονομικής μεγέθυνσης πρώτοι ασχολήθηκαν οι κλασικοί οικονομολόγοι, όπως ο (Smith 1776), ο (Ricardo 1817), και πολύ αργότερα, ο (Ramsey 1928), ο (A. A. Young 1928) και ο (J. A. Schumpeter 1934). Αυτοί ήταν οι πρώτοι που έθεσαν τα θεμέλια της σύγχρονης θεωρίας της οικονομικής μεγέθυνσης. Πιο συγκεκριμένα, ως κινητήριος μοχλός της οικονομικής μεγέθυνσης αναγνωρίστηκαν: η αυξημένη εξειδίκευση εργασίας και η ανακάλυψη νέων προϊόντων και τρόπων παραγωγής, καθώς και ρόλος της μονοπωλιακής δύναμης ως κίνητρο για τεχνολογική πρόοδο.

Η ενασχόληση της ακαδημαϊκής κοινότητας με τη διερεύνηση της οικονομικής μεγέθυνσης ατόνησε για αρκετές δεκαετίες μετά τις προσπάθειες του Adam Smith και άλλων οικονομολόγων. Οι κύριοι λόγοι ήταν η έλλειψη κατάλληλων μαθηματικών τεχνικών για την ανάλυση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και η έλλειψη των κατάλληλων στατιστικών στοιχείων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, η εισαγωγή νέων μαθηματικών τεχνικών και η κατασκευή διαφόρων βάσεων δεδομένων, με συγκρίσιμα στατιστικά στοιχεία για ένα σημαντικό αριθμό χωρών, έδωσαν ώθηση τόσο στη θεωρητική, όσο και στην εμπειρική έρευνα στο κλάδο της οικονομικής μεγέθυνσης. Αποτέλεσμα των παραπάνω εξελίξεων ήταν η δημιουργία της νέας θεωρίας της οικονομικής μεγέθυνσης. Κεντρικό ρόλο στα υποδείγματα ενδογενούς οικονομικής μεγέθυνσης, που αποτέλεσαν χαρακτηριστικό της νέας αυτής θεωρίας, έχουν οι αύξουσες αποδόσεις, η εξειδίκευση του ανθρώπινου δυναμικού, η Έρευνα και Ανάπτυξη και οι εξωτερικές οικονομίες.

Η σύγχρονη θεωρία της οικονομικής μεγέθυνσης ξεκίνησε από το έργο του (Ramsey 1928) για την διαχρονική μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας των νοικοκυριών. Ακολούθησαν οι (R. M. Solow 1956) και (Swan 1956) με τη χρήση της νεοκλασικής συνάρτησης παραγωγής, η οποία, σε συνδυασμό με την υπόθεση σταθερού ρυθμού αποταμίευσης, αποτελεί το πιο απλό υπόδειγμα γενικής ισορροπίας, αλλά με εξωγενή την τεχνολογική πρόοδο. Το μοντέλο τους δείχνει ότι χωρίς τεχνολογική πρόοδο δεν μπορεί να υπάρξει οικονομική μεγέθυνση. Επίσης, ο

⁵ Μέρος της παρούσας παραγράφου βασίστηκε στο βιβλίο των (Καλαϊτζιδάκης and Καλυβίτης 2002)

(Robert M Solow 1957) με μια οικονομετρική μελέτη υποστήριξε ότι το ανεξήγητο στοιχείο της αύξησης της παραγωγικότητας οφείλεται στην τεχνολογική πρόοδο και έγινε γνωστό ως κατάλοιπο του Solow. Οι (Cass 1965) και (Koormans 1965) χρησιμοποιώντας την ανάλυση του Ramsey επέκτειναν το υπόδειγμα του Solow με ενδογενές ρυθμό αποταμίευσης, αλλά η υπόθεση της εξωγενούς τεχνολογικής προόδου παρέμεινε.

Η προσπάθεια, όμως, εισαγωγής ενδογενούς οικονομικής μεγέθυνσης στα υποδείγματα γενικής ισορροπίας είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, καθώς οι διαδικασίες διαμόρφωσης της τεχνολογικής προόδου είναι ιδιαίτερα σύνθετες και δεν έχουν γίνει έως σήμερα πλήρως κατανοητές. Οι (Bresnahan and Trajtenberg 1995) υποστηρίζουν ότι ακόμα και ένα μικρό υπόδειγμα που προσπαθεί να περιλάβει αυτούς τους μηχανισμούς γίνεται υπερβολικά περίπλοκο. Η ενδογενοποίηση της τεχνολογικής προόδου στο νεοκλασικό υπόδειγμα είναι δύσκολη εξαιτίας των ανταγωνιστικών υποθέσεων του υποδείγματος. Η συνάρτηση παραγωγής με την εισαγωγή της τεχνολογικής προόδου χαρακτηρίζεται από αύξουσες αποδόσεις κλίμακας και αυτό το χαρακτηριστικό δεν συνάδει με τον τέλειο ανταγωνισμό. Δεδομένου ότι η τεχνογνωσία είναι δημόσιο αγαθό και ο παραγωγός παράγει στο οριακό κόστος, ο τελευταίος δεν έχει τα απαραίτητα κίνητρα για βελτίωση της τεχνολογίας.

Ο (Sheshinski 1967) στηριζόμενος σε μια ιδέα του Kenneth Arrow, κατασκεύασε ένα υπόδειγμα στο οποίο η τεχνογνωσία αποτελεί έμμεσο αποτέλεσμα της παραγωγής και της επένδυσης. Η λύση που προέκυψε δεν ήταν άριστη κατά Pareto, εξαιτίας της ενσωμάτωσης εξωτερικών οικονομιών σε ένα κλασικό υπόδειγμα. Συνεπώς, απαιτείται να μεταβληθεί ριζικά το νεοκλασικό υπόδειγμα εισάγοντας στοιχεία ατελούς ανταγωνισμού ή εξωτερικές οικονομίες.

Ο (Romer 1986) επαναπροσδιόρισε την έννοια του κεφαλαίου ορίζοντας το ως το συνδυασμό του φυσικού κεφαλαίου, των προσχεδίων (blueprints) και της γνώσης, ως αποτέλεσμα επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη. Με την διεύρυνση της έννοιας του κεφαλαίου ο Romer επέτρεψε την παρουσία εξωτερικότητας, ώστε οι επιχειρήσεις να μαθαίνουν η μία από την άλλη. Τέτοιες εξωτερικότητες συμβάλλουν στην βιώσιμη ανάπτυξη. Ωστόσο, απαιτούνται σημαντικές εξωτερικότητες σε αυτά τα μοντέλα ώστε η βιώσιμη ανάπτυξη να είναι εφικτή. Επιπλέον, αυτή η κατηγορία των μοντέλων υποφέρουν από τον ορισμό του κεφαλαίου ο οποίος γίνεται πολύ ευρύς.

Οι (L. E. Jones and Manuelli 1990; Lucas 1988; Sergio Rebelo 1991) επίσης επαναπροσδιόρισαν την έννοια του κεφαλαίου συμπεριλαμβάνοντας μαζί με το φυσικό κεφάλαιο και το ανθρώπινο κεφάλαιο. Η συσσώρευση του ανθρώπινου κεφαλαίου ακολουθεί τους ίδιους κανόνες με αυτή του φυσικού κεφαλαίου και με αυτό τον τρόπο επιτρέπει τη βιώσιμη ανάπτυξη χωρίς την παρουσία της εξωγενούς τεχνολογικής προόδου. Μια όχι και τόσο ρεαλιστική υπόθεση αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι ότι η ανάπτυξη στηρίζεται στο γεγονός ότι οι εργαζόμενοι γίνονται πιο παραγωγικοί με την πάροδο του χρόνου, με έναν τρόπο που δεν συνδέεται με την εφεύρεση νέων τεχνολογιών (S. Rebelo 1998).

Ένα άλλο μέρος της βιβλιογραφίας εστιάζει στην τεχνολογική πρόοδο η οποία είναι αποτέλεσμα επενδύσεων σε E & A (Aghion and Howitt 1992; Grossman and Helpman 1991; Romer 1990). Οι προσεγγίσεις αυτές μοιράζονται το κοινό χαρακτηριστικό ότι καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, το ίδιο κάνει και ο ρυθμός της τεχνολογικής προόδου και της παραγωγής ανά άτομο. Αυτό αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως "scale effect". Παραλλαγές του μοντέλου ενδογενούς ανάπτυξης με E & A χωρίς "scale effects" έχουν αναπτυχθεί από (Aghion and Howitt 1992; Dinopoulos and Thompson 1998; A. Young 1998). Σε αυτά τα μοντέλα, οι επενδύσεις σε E & A χρησιμοποιούνται είτε για την βελτίωση της παραγωγικότητας στην παραγωγική διαδικασία (process innovation), είτε για την αύξηση των ποικιλιών των διαθέσιμων προϊόντων (quality innovation). Η ιδέα τους είναι ότι όσο η οικονομία μεγαλώνεται τόσο αυξάνει και ο αριθμός των διαφορετικών προϊόντων και έτσι η αποτελεσματικότητα της E&A μειώνεται διότι απλώνεται σε περισσότερους τομείς.

Στα παραπάνω μοντέλα της βιβλιογραφίας, η γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής για καινοτομίες (\dot{A}_t) εξαρτάται από το υπάρχον απόθεμα ιδεών (A_t) και από τον αριθμό των ερευνητών (R_t) και δίνεται ακολούθως:

$$\dot{A}_t = c \cdot A_t^n \cdot R_t$$

Όπου (c) είναι ένα συντελεστής αναλογικότητας, ενώ ο εκθέτης (n) καθορίζει τις αποδόσεις κλίμακας του εκάστοτε μοντέλου. Έτσι για ($n < 0$) υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ νέων καινοτομιών και αποθέματος ιδεών, για ($n = 0$) οι νέες καινοτομίες δεν εξαρτώνται από το απόθεμα ιδεών, για ($0 < n < 1$) έχουμε φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας, για ($n = 1$) έχουμε σταθερές αποδόσεις κλίμακας και για ($n > 1$) έχουμε αύξουσες αποδόσεις κλίμακας. Ο (Romer 1990) υπέθεσε ($n = 1$), κάτι που ο (C. I. Jones 1995) χαρακτήρισε ως μη ρεαλιστικό γιατί ο ρυθμός μεγέθυνσης θα οδηγούσε σε «εκρηκτικά» αποτελέσματα. Όπως παρατήρησε ο Jones είναι πιο εύλογο να υποθέσουμε ($0 < n < 1$).

2.3. Ενδογενής τεχνολογική πρόοδος και κλιματική αλλαγή

Η ενσωμάτωση των τεχνολογικών αλλαγών, σε μελέτες για την κλιματική αλλαγή, θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα της ανάλυσης των σχετικών πολιτικών (Gillingham, Newell, and Pizer 2008). Παρόλα αυτά η εξωγενής εκτίμηση των τεχνολογικών μεταβολών παραμένει η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος. Η ενδογενής υπόθεση σχετικά με τον ρυθμό τεχνολογικής προόδου μπορεί να οδηγήσει σε «λανθασμένη εκτίμηση» του κόστους των πολιτικών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Πολλές μελέτες (Weyant and Olavson 1999), (Löschele 2002), (Buonanno, Carraro, and Galeotti 2003), (Pantelis Capros, Paroussos, and Karkatsoulis 2012) δείχνουν ότι τα μοντέλα που ενσωματώνουν μηχανισμούς τεχνολογικής προόδου εκτιμούν ότι το συνολικό κόστος της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι χαμηλότερο σε σχέση με την εκτίμηση των συμβατικών μοντέλων με εξωγενή τεχνολογική μεταβολή. Χωρίς τον ενδογενή μηχανισμό Έρευνας και Ανάπτυξης (E&A), το μοντέλο παράγει υψηλότερες οικονομικές απώλειες και χαρακτηρίζεται από αδυναμία της οικονομίας να ανακτήσει και να παράγει θετικό ρυθμό ανάπτυξης σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Η μείωση των εκπομπών είναι συνεχώς επιζήμια για την οικονομία, αν το μοντέλο αγνοεί την ενδογενή E&A και τα αποτελέσματα για την μακροχρόνια ανάπτυξη. Το αποτέλεσμα αυτό, το οποίο, δυστυχώς, είναι κοινό σε πολλά συμβατικά μοντέλα, είναι εσφαλμένο και παραπλανητικό. Η τεχνολογική πρόοδος προϋποθέτει την ενσωμάτωση ενός μηχανισμού ανάδρασης, ο οποίος καθορίζεται από τις πιέσεις και τις ανάγκες που δημιουργούνται από τις εκάστοτε πολιτικές (Grubb, Charuiis, and Duong 1995).

Το θεωρητικό υπόβαθρο της ενδογενούς τεχνολογικής μεταβολής που προκαλείται από την E&A μπορεί να εντοπιστεί σε πρώιμο στάδιο στο έργο των (Kamien and Schwartz 1969) και των (Binswanger and Ruttan 1978), καθώς και στη νεότερη βιβλιογραφία ενδογενούς μεγέθυνσης (Aghion and Howitt 1997; Romer 1990). Σε πρόσφατες μελέτες, η θεωρητική προσέγγιση αυτή έχει συμπληρωθεί με εμπειρικές εκτιμήσεις που βασίζονται σε μικροοικονομικά δεδομένα (βλέπε (Fischer and Newell 2004; D. Popp 2002; D. C. Popp 2001)). Η γνώση προκαλεί διάχυση της τεχνολογίας σε άλλες επιχειρήσεις, και έτσι αποτελεί κινητήρια δύναμη της οικονομικής ανάπτυξης (βλέπε (L. Clarke and Weyant 2002; Jaffe, Newell, and Stavins 2005)).

Πρόσφατα μοντέλα για την πολιτική της κλιματικής αλλαγής αναπτύσσονται στο πλαίσιο της νεοκλασικής θεωρίας μεγέθυνσης, χρησιμοποιώντας μία

αθροιστική συνάρτηση παραγωγής ή κόστους της συνολικής οικονομίας, με εισροές κεφαλαίου, εργασίας και άλλες, τα οποία μετρούν τις εκπομπές και τις δραστηριότητες ελέγχου των εκπομπών (Lecocq and Shalizi 2007). Πολλές από αυτές τις προσεγγίσεις στηρίζονται άμεσα στη θεωρία της ενδογενούς μεγέθυνσης, ιδιαίτερα τα μοντέλα των (Romer 1990), (Kiley 1999), (Aghion and Howitt 1997) και (Acemoglu 1998, 2002).

2.4. Καμπύλες μάθησης

Η πρώτη προσέγγιση για την τεχνολογική μεταβολή, προτάθηκε από τον (K. Arrow 1962). Στο έργο του, υποθέτει ότι η τεχνολογική μεταβολή προκαλείται μέσω της μάθησης. Η τελευταία επιτυγχάνεται μέσα από την πράξη και μετριέται με τη μορφή των καμπυλών εκμάθησης (learning curves), που δείχνουν τη μείωση του κόστους ως συνάρτηση της σωρευτικής εμπειρίας ή παραγωγής. Οι καμπύλες εκμάθησης έχουν παρατηρηθεί σε πολλές βιομηχανίες και είναι μια καλά εδραιωμένη εμπειρική έννοια (Παραδείγματα είναι (Azar and Dowlatabadi 1999; Grübler, Nakicenovic, and Victor 1999; Kouvaritakis, Soria, and Isoard 2000; Löschel 2002)).

Οι καμπύλες μάθησης μέσω της δράσης έχουν μελετηθεί ευρέως. Ο (K. Arrow 1962) είχε αναγνωρίσει την αξία της μάθησης από την εμπειρία στη μείωση του κόστους των τεχνολογιών. Η μάθηση μέσω της δράσης αποτελεί την τεχνολογική πρόοδο σε συνάρτηση με την συσσωρευμένη εμπειρία. Ο (Stiglitz 1987) θεωρούσε ότι η αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της δράσης είναι μια θετική συνάρτηση της έντασης κεφαλαίου. Σύμφωνα με τους (Lieberman and Montgomery 1988), η μάθηση βρέθηκε να είναι συνάρτηση των αθροιστικών επενδύσεων. Η ανάλυσή του δείχνει ότι η καμπύλη μάθησης είναι σημαντικός παράγοντας για την μείωση του κόστους παραγωγής αλλά τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου εξαρτώνται καθοριστικά από την διάχυση της γνώσης. Ομοίως, ο (C. M. Christensen 1997) χρησιμοποίησε την αθροιστική παραγωγή ως μέτρο συσσώρευσης της γνώσης που λαμβάνεται κατά την διάρκεια της κατασκευής και της χρήσης μιας τεχνολογίας.

Η ενδογενής τεχνολογική μεταβολή έχει αναγνωριστεί ως μια κρίσιμη πτυχή στο χώρο της μοντελοποίησης του μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών (Kahouli-Brahmi 2008; Kouvaritakis, Soria, and Isoard 2000). Οι (Leimbach et al. 2010) υπογραμμίζουν τη σημασία της τεχνολογικής μάθησης των ΑΠΕ για την εκτίμηση του κόστους του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής ανά περιφέρεια, χρησιμοποιώντας το υβριδικό ενεργειακό-οικονομικό μοντέλο ολοκληρωμένης αξιολόγησης (Integrated Assessment model)

REMIND-R. Οι εκτιμήσεις των ποσοστών μάθησης των ενεργειακών τεχνολογιών που παρέχονται από διάφορες μελέτες, ποικίλλουν σε ορισμένες περιπτώσεις σημαντικά. Μια περιεκτική ανασκόπηση των ιστορικών ποσοστών μάθησης των τομέων που σχετίζονται με την ενέργεια και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να βρεθεί στον (Jamassb 2007; Panagiotis Karkatsoulis et al. 2014).

2.5. Ενδογενής τεχνολογική πρόοδος σε μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας

Η εμπειρική μελέτη της ενδογενούς τεχνολογικής μεταβολής βασίζεται τελευταία σε μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (CGE) με πολλούς τομείς δραστηριότητας και πολλές χώρες. Τα μοντέλα αυτά δεν διαθέτουν συνήθως μηχανισμούς ενδογενούς ανάπτυξης. Η επέκτασή τους είναι πρόσφατη και ακόμα και σήμερα βρίσκεται σε πρώιμο ερευνητικό στάδιο. Στην προσπάθεια να γίνει η τεχνολογική μεταβολή ενδογενής, προτάθηκαν πολυτομεακά μοντέλα υπολογισιμής γενικής ισορροπίας (multisectoral CGE models), η εφαρμογή των οποίων μέχρι σήμερα παραμένει σπάνια. Για παράδειγμα, τα μοντέλα (Goulder and Schneider 1999; Sue Wing 2006) εισήγαγαν την τεχνολογική μεταβολή μέσω της ενσωμάτωσης στην παραγωγική λειτουργία του άυλου κεφαλαίου (knowledge capital). Τα μοντέλα CGE διαφέρουν από τις άλλες προσεγγίσεις, αφού η οικονομία διαχωρίζεται σε διάφορους παραγωγικούς τομείς και έτσι οι οικονομικές αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν χώρα τόσο εντός όσο και μεταξύ των τομέων. Τα μοντέλα CGE συμπεριλαμβάνουν τις πιθανές θετικές δευτερογενείς επιδράσεις της γνώσης σε επίπεδο τομέων αλλά και χωρών. Ωστόσο, τείνουν να είναι άμεσα συνδεδεμένα με δεδομένα και απαιτητικά υπολογιστικά, όπως αναφέρουν και οι (Gillingham, Newell, and Pizer 2008).

Πολιτικές προώθησης της E&A εξετάστηκαν από πολλούς ερευνητές. Οι (Diao, Roe, and Yeldan 1999) χρησιμοποίησαν ένα CGE μοντέλο για την Ιαπωνία, ενώ ο Ghosh χρησιμοποίησε δεδομένα από την οικονομία του Καναδά. Η (Kristkova 2013) επέλεξε να χρησιμοποιήσει ένα CGE πολύ-τομεακό μοντέλο της οικονομίας της Τσεχίας για να εξετάσει τον μακροπρόθεσμο αντίκτυπο που έχουν οι πολιτικές E&A στην ανάπτυξη, οι (Bye, Fæhn, and Heggedal 2009) χρησιμοποίησαν ένα πολύ-τομεακό μοντέλο ανοικτής οικονομίας με χαρακτηριστικά ισχυρής οικονομικής ανάπτυξης προσαρμοσμένο σε δεδομένα της Νορβηγίας. Ο (M. A. Christensen 2015) χρησιμοποίησε ένα CGE μοντέλο προκειμένου να εξετασθούν οι επιδράσεις των προωθητικών πολιτικών σε ICT (information and communications technology) και E&A. Έτσι, η βιβλιογραφία παρέχει περιορισμένα παραδείγματα μοντέλων CGE με ενδογενή τεχνολογική μεταβολή.

Μια αναλυτική σύγκριση τεσσάρων ⁶ μεγάλης κλίμακας μοντέλων με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο (συμπεριλαμβανομένου και το μοντέλο GEME3-RD που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή) τα οποία χρησιμοποιούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την εκ των προτέρων (ex ante) αξιολόγηση των επιπτώσεων της πολιτικής στην οικονομία παρουσιάζεται από τους (Di Comite and Kanacs 2015). Η μελέτη αυτή αξιολογεί και ταξινομεί τα μοντέλα με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Το NEMESIS ως ένα μακροοικονομετρικό μοντέλο έχει την πιο αναλυτική εκτίμηση των ελαστικότητων που αφορούν τις επενδύσεις για E&A. Το QUEST-RD ως ένα δυναμικό μοντέλο γενικής ισορροπίας είναι πιο κατάλληλο για την εκτίμηση των επιπτώσεων των πολιτικών της E&A, καθώς είναι το μόνο μοντέλο με διαχρονική βελτιστοποίηση των οικονομικών παραγόντων. Το RHOMOLO ως ένα χωρικό μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (SCGE-Spatial Computable General Equilibrium) είναι το πιο κατάλληλο για την αναπαράσταση των μηχανισμών διάχυσης, καθώς είναι το μόνο μοντέλο που αναπαριστά αναλυτικά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιφερειών. Τέλος το μοντέλο GEME3-RD είναι το πιο κατάλληλο για εκτίμηση των επιπτώσεων των ενεργειακών καινοτομιών, δεδομένου ότι αναπαριστά αναλυτικά τον ενεργειακό τομέα και τις αλληλεπιδράσεις την υπόλοιπη οικονομία.

2.6. Μοντελοποίηση της διάχυσης της γνώσης στην βιβλιογραφία

Η διάχυση της τεχνολογίας είναι το φαινόμενο που μια οικονομία εκμεταλλεύεται την τεχνολογική πρόοδο που παράγεται σε άλλες χώρες, για να την χρησιμοποιήσει κατόπιν στην δική της εγχώρια παραγωγή. Η διάδοση της τεχνολογίας μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, με την ελεύθερη πρόσβαση στα αποτελέσματα της βασικής επιστημονικής έρευνας ή μέσω της εξαγοράς δικαιωμάτων εκμετάλλευσης καινοτομιών. Εμπειρικές μελέτες καταδεικνύουν τη σημασία της διάχυσης στην μοντελοποίηση της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου (Zvi Griliches 1991). Η γνώση είναι μόνο εν μέρει «κρυφή», δηλαδή ενσωματωμένη σε ανθρώπους που κατέχουν την τεχνογνωσία (know-how), και συνεπώς, μη-μεταφέρσιμη. Το υπόλοιπο της γνώσης αυτής είναι ελεύθερα διαθέσιμο (δημόσιο αγαθό), το οποίο παίρνει διάφορες μορφές (όπως επιστημονικές μελέτες, άρθρα κλπ.), οι οποίες επειδή δεν είναι εμπορεύσιμες, είναι δύσκολο να ανιχνευτούν/ποσοτικοποιηθούν. Αν και η ιδέα αυτή (της γνώσης που μεταφέρεται) χρονολογείται από της αρχές του 19^{ου} αιώνα (K. Arrow 1962; Marshall 1920; Nelson

⁶ Τρία μοντέλα γενικής ισορροπίας QUEST (Varga and in't Veld 2011), RHOMOLO (Persyn, Torfs, and Kanacs 2014), GEME3 και ένα μακροοικονομετρικό μοντέλο NEMESIS (Zagame et al. 2010).

1959), η εισαγωγή της σε μοντέλα γενικής ισορροπίας είναι πιο πρόσφατη (Diao, Roe, and Yeldan 1999; Goulder and Schneider 1999).

Για να είναι σε θέση η κοινωνία να απολαύσει τα οφέλη της διάχυσης της γνώσης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι κάποιος οικονομικοί παράγοντες να αναλάβουν το κόστος των επενδύσεων σε E&A. Οι επενδυτές που αναλαμβάνουν το ρίσκο της επένδυσης σε E&A, αναμένουν θετική απόδοση των επενδύσεων τους, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί κατοχυρώνοντας τις καινοτομίες με διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τα οποία λειτουργούν ως αμυντικός μηχανισμός για τις επιχειρήσεις, αφού εξασφαλίζουν για ένα διάστημα κέρδη από την ανακάλυψη ενός νέου προϊόντος ή διαδικασίας παραγωγής. Η μοντελοποίηση της «κρυφής» γνώσης, σχεδόν σε όλα τα μοντέλα γενικής ισορροπίας περιλαμβάνεται σαν ξεχωριστός τομέας, δηλαδή οι επιχειρήσεις αγοράζουν και πωλούν τις ιδέες, τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τα σχέδια ή οποιοδήποτε άλλο προϊόν καινοτομίας παράγεται, όπως συμβαίνει με κάθε άλλο εμπόρευμα στην οικονομία.

Όπως αναφέρεται στην μελέτη των (Di Comite and Kanacs 2015), παρόλο που η ύπαρξη της διάχυσης αμφισβητείται σπάνια (πρόσφατες εμπειρικές μελέτες μπορούν να βρεθούν στους Coe και Helpman, 1995, Park, 1995, Adams, 1997), η μοντελοποίηση της απαιτεί τολμηρές επιλογές σχετικά με τη χρήση των δεδομένων και τις συναρτησιακές σχέσεις που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, η διάχυση μπορεί να σχετίζεται με το εμπόριο, όπως για παράδειγμα στους (Coe and Helpman 1995; Ghosh 2007; Lee 1995). Η διάχυση της γνώσης μπορεί να προσδιοριστεί είτε σε παγκόσμιο επίπεδο, είτε σε επίπεδο επιχειρήσεων όπως στους (Cohen and Levinthal 1989), οι οποίοι προσδιόρισαν την διάχυση της γνώσης ως ποσοστό της γνώσης που απορροφάται από αντίπαλες επιχειρήσεις. Άλλα μοντέλα συσχετίζουν τη διάχυση της γνώσης με τη γεωγραφική απόσταση, βασιζόμενα σε μελέτες όπως αυτές των (Audretsch and Feldman 1996), δείχνοντας ότι η διάχυση της γνώσης τείνει να είναι γεωγραφικά συγκεντρωμένη και αποτυγχάνει να εξαπλωθεί πέρα από τα γεωγραφικά σύνορα, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τον (Branstetter 2001) ο οποίος δείχνει ότι οι δευτερογενείς επιδράσεις της γνώσης φαίνεται να είναι πιο σημαντικές εντός της χώρας παρά διεθνώς.

Κεφάλαιο 3

3. Το μοντέλο GEME3-RD

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο GEME3-RD που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διατριβής.

3.1. Ιστορική Επισκόπηση του μοντέλου

Το μοντέλο GEME3 αναπτύχθηκε στο εργαστήριο E3MLab του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Pantelis Capros 1997) και είναι ένα εφαρμοσμένο μοντέλο γενικής ισορροπίας που αναπαριστά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της οικονομίας, του ενεργειακού συστήματος και του περιβάλλοντος. Οι πρώτες εφαρμογές του μοντέλου αφορούσαν στη μελέτη των επιπτώσεων της ενιαίας αγοράς, στην ανάλυση πολιτικών κλιματικής αλλαγής καθώς και στην αξιολόγηση πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής κατασκευάστηκε το μοντέλο GEME3-RD, το οποίο αποτελεί επέκταση των GEME3 (P Capros, van Regemorter, et al. 2013) και TECH-GEM (Arnaud Fougeyrollas, Le Mouël, and Zagamé 2005), και στο οποίο εφαρμόστηκαν όλες οι καινοτομίες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του παρόντος διδακτορικού και αποτέλεσαν τη βάση για την τρέχουσα έκδοση του μοντέλου GEME3. Ενδεικτικά κάποιες από τις εφαρμογές του μοντέλου GEME3 που βασίστηκαν σε επεκτάσεις της παρούσας διατριβής είναι: (P. Karkatsoulis et al. 2016), (Panagiotis Karkatsoulis et al. 2016), (P. Karkatsoulis et al. 2014), (Edelenbosch et al. 2016), (P. Capros et al. 2016).

3.2. Γενική περιγραφή του μοντέλου

Το μοντέλο GEME3-RD είναι ένα μεγάλης κλίμακας δυναμικό μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας στο οποίο στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ενσωματώθηκε η μοντελοποίηση της ημι-ενδογενούς⁷ τεχνολογικής μεταβολής. Η γεωγραφική κάλυψη του μοντέλου είναι παγκόσμια. Η αναπαράσταση περιλαμβάνει όλες τις χώρες-μέλη τις ΕΕ χωριστά την κάθε μια, ενώ ο υπόλοιπος κόσμος έχει χωριστεί σε πέντε περιοχές (βλέπε παράρτημα κεφαλαίου 3.14.2). Η δομή του μοντέλου είναι τέτοια ώστε ο χρήστης να μπορεί να αλλάζει δυναμικά τις περιοχές ανάλογα με το εξεταζόμενο ερώτημα. Το μοντέλο GEME3-RD στην βασική του έκδοση είναι ένα δυναμικό μοντέλο που επιλύεται διαχρονικά ανά πενταετία

⁷ Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ο όρος ημι-ενδογενής τεχνολογική μεταβολή (semi-endogenous technical change).

μέχρι το 2050. Υπάρχουν Μ στατικές ισορροπίες όσες και οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες επιλύεται το μοντέλο. Οι ισορροπίες της κάθε περιόδου συνδέονται μεταξύ τους μέσω δυναμικών σχέσεων⁸. Οι οικονομικοί παράγοντες που περιλαμβάνονται στο μοντέλο (νοικοκυριά, επιχειρήσεις, δημόσιος τομέας) λαμβάνουν τις αποφάσεις τους βασιζόμενοι σε μυωπικές προσδοκίες⁹.

Το μοντέλο είναι κατασκευασμένο σαν σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων διατυπωμένο με τη μορφή προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP) που στοχεύει να υπολογίσει την ταυτόχρονη ισορροπία των αγορών σε όλες τις χώρες/περιοχές. Οι χώρες/περιοχές συνδέονται μεταξύ τους μέσω διμερών εμπορικών συναλλαγών, οι οποίες υπολογίζονται ενδογενώς. Για την επίλυση¹⁰ του συστήματος εξισώσεων χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος PATH (Dirkse and Ferris 1995).

Το μοντέλο αναπαριστά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της οικονομίας, του ενεργειακού συστήματος και του περιβάλλοντος. Έχει προσαρμοστεί έτσι ώστε να αναπαράγει ακριβώς μία χρονιά βάσης, τα δεδομένα της οποίας αποτελούνται από τους πίνακες κοινωνικής λογιστικής για κάθε χώρα/περιοχή του μοντέλου. Το GEME3-RD βασίζεται κυρίως σε οικονομικά δεδομένα του 2011, 2007 και 2004, τα οποία προέρχονται από την βάση δεδομένων GTAP και EUROSTAT. Οι σημαντικότερες από τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιεί το μοντέλο είναι:

- Τους πίνακες κοινωνικής λογιστικής, εισροών εκροών και διμερούς εμπορίου (πηγή: GTAP)
- Την κατανάλωση κατά σκοπό και κατά προϊόν (Πηγή: EUROSTAT)
- Τις επενδύσεις κατά σκοπό και κατά προϊόν (Πηγή: EUROSTAT)
- Τις συναλλαγές μεταξύ θεσμικών παραγόντων (Πηγή: EUROSTAT)

⁸ Οι δυναμικές σχέσεις του μοντέλου είναι η εξίσωση της συσσώρευσης του κεφαλαίου και οι εξισώσεις συσσώρευσης της γνώσης, είτε μέσω της πράξης, είτε μέσω της επένδυσης σε Έρευνα και Ανάπτυξη, είτε μέσω της διάδοσης της γνώσης. Οι δυναμικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν τα αποθέματα της επόμενης χρονιάς (Κεφαλαίου και Γνώσης), τα οποία κατά την επίλυση της επόμενης χρονιάς θεωρούνται γνωστά.

⁹ Σε μια άλλη εκδοχή του μοντέλου, που περιγράφεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο, οι οικονομικοί παράγοντες έχουν ορθολογικές προσδοκίες και η επίλυση του μοντέλου γίνεται εφαρμόζοντας επαναληπτική μέθοδο.

¹⁰ Στα πλαίσια του διδακτορικού έχει αναπτυχθεί και ένας πειραματικός επαναληπτικός αλγόριθμος επίλυσης για την επίλυση μεγάλης κλίμακας υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας, ο οποίος παρουσιάζεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Η ανάπτυξή του έγινε με σκοπό να βελτιώσει το χρόνο επίλυσης σε μεγάλης κλίμακας μοντέλα γενικής ισορροπίας, στα οποία ο αλγόριθμος του PATH είτε αποτυγχάνει να συγκλίνει είτε είναι πολύ αργός.

- Τις ενεργειακές καταναλώσεις ανά κλάδο και καύσιμο, πρωτογενή παραγωγή υδρογονανθράκων και τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής (Πηγή: ENERDATA και IEA)
- Τα μακροοικονομικά δεδομένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πηγή: EUROSTAT)
- Τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά περιοχή: The Emissions Database for Global Atmospheric Research-EDGAR (<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>)
- Τα δεδομένα και τις προβλέψεις για τον πληθυσμό ανά περιοχή (Πηγή: United Nations, EUROSTAT)
- Τα χρηματοοικονομικά δεδομένα (Πηγή: World Bank, IMF-World Economic Outlook)
- Τα κόστη και τις αποδόσεις των ενεργειακών τεχνολογιών στις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής (Πηγή: TECHPOL και PRIMES)

Το μοντέλο αναπαριστά αναλυτικά το ενεργειακό σύστημα και συγκεκριμένα τους κλάδους της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, πετρελαίου (παραγωγή και διύλιση) και άνθρακα, τα βιοκαύσιμα, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στους τομείς της ενεργειακής ζήτησης, τα επιβατικά αυτοκίνητα και άλλα μέσα μεταφορών. Επιπλέον, περιλαμβάνει χωριστά τους βιομηχανικούς τομείς που παράγουν προηγμένο ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό. Σε αυτά περιλαμβάνονται: ο εξοπλισμός των ανεμογεννητριών, τα φωτοβολταϊκά, οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS), τα ηλεκτρικά οχήματα, ο προηγμένος εξοπλισμός ενεργειακής απόδοσης για τα νοικοκυριά και η παραγωγή βιοντίζελ και αιθανόλης. Οι τομείς δραστηριότητας που περιλαμβάνονται στο μοντέλο GEME3-RD παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα του κεφαλαίου.

Στο μοντέλο υπάρχουν πέντε οικονομικοί παράγοντες (νοικοκυριά, επιχειρήσεις, κράτος, ξένος τομέας και τράπεζες σε περίπτωση επιλογής του κλεισίματος IS-LM¹¹). Τα νοικοκυριά μεγιστοποιούν τη διαχρονική συνάρτηση χρησιμότητάς τους, η οποία υπόκειται στον διαχρονικό περιορισμό του εισοδήματός τους, επιλέγοντας τη βέλτιστη ποσότητα κατανάλωσης και διαθέσιμων προς εργασία ωρών. Έτσι, καθορίζεται η συνολική κατανάλωση και αποταμίευση, καθώς και η καμπύλη προσφοράς εργασίας. Αλλαγές στον πραγματικό μισθό ισορροπίας μπορεί να ωθήσουν κάποιους να εισέλθουν στην αγορά εργασίας, ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερο εισόδημα. Οι επιχειρήσεις λειτουργούν υπό καθεστώς τέλειου ανταγωνισμού και προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους ή ισοδύναμα να ελαχιστοποιήσουν το κόστος

¹¹ Οι (Agenor, Ul Haque, and Montiel 1991) και (Bourguignon, Branson, and Melo 1989) περιγράφουν την κατασκευή μοντέλου γενικής ισορροπίας με κλείσιμο μέσω του νομισματικού τομέα. Αυτή η επέκταση του μοντέλου που αφορά εναλλακτικό κλείσιμο του μοντέλου καθώς και τους μηχανισμούς χρηματοδότησης περιγράφεται αναλυτικά σε ξεχωριστό Κεφάλαιο.

παραγωγής, ενώ παράλληλα επιλέγουν βέλτιστα την επένδυση και την δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη (υποθέτοντας μια αναμενόμενη ζήτηση για τις επόμενες περιόδους). Η συμπεριφορά του κράτους όσον αναφορά την κατανάλωση και τις δημόσιες επενδύσεις καθορίζεται εξωγενώς στο μοντέλο, ενώ οι φόροι/επιδοτήσεις μπορούν να είναι ενδογενείς ανάλογα με την εφαρμογή της πολιτικής που θέλουμε να εξετάσουμε. Το μοντέλο περιλαμβάνει αναλυτική παρουσίαση της φορολογίας, του εμπορίου καθώς και του κόστους μεταφοράς των εμπορευμάτων. Η συνολική ζήτηση (ενδιάμεση και τελική) σε κάθε χώρα ικανοποιείται από εγχωρίως παραγόμενα και εισαγόμενα αγαθά σύμφωνα με την υπόθεση του Armington¹².

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η βασική δομή του μοντέλου. Απεικονίζονται τα επίπεδα και οι διάφορες αποφάσεις που καλούνται να πάρουν οι οικονομικοί παράγοντες της οικονομίας.

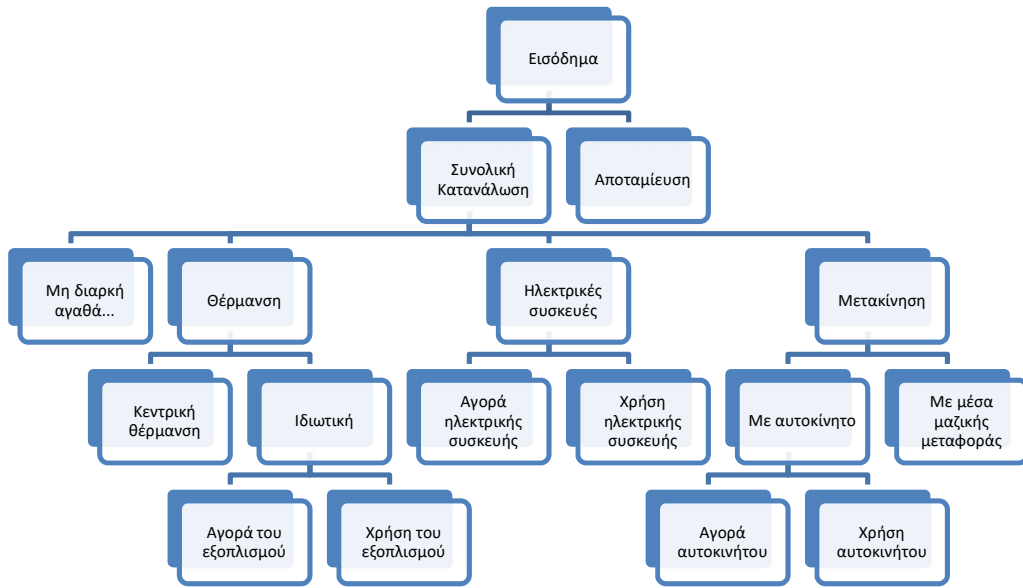
Το μοντέλο είναι κατασκευασμένο κατά τρόπο ώστε τα διάφορα υπομοντέλα του να μπορούν να ενεργοποιούνται ή όχι ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη. Οι πιο σημαντικές εναλλακτικές επιλογές είναι:

- Κινητικότητα κεφαλαίου μεταξύ κλάδων και/ή χωρών
- Ελεύθερο ή δεδομένο ισοζύγιο πληρωμών (σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο)
- Διαφορετικές μορφές της προσφοράς εργασίας
- Περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί κατά χώρα ή συνολικά για την Ε.Ε ή παγκόσμια.
- Ελεύθερα ή σταθερά δημοσιονομικά
- Κλείσιμο IS-LM¹³
- Ενδογενής ή εξωγενής τεχνολογική πρόοδος
- Με εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους

¹² Στην υπόθεση του (Armington 1969) οι καταναλωτές χρησιμοποιούν ένα σύνθετο αγαθό το οποίο αποτελείται από εγχώρια και εισαγόμενα αγαθά, τα οποία θεωρούνται ως ατελή υποκατάστατα.

¹³ Βλέπε αναλυτική παρουσίαση αυτής της επέκτασης του μοντέλου στο κεφάλαιο 6 σελίδα 174.

μερίσματα μετοχών, οι καταθέσεις στις τράπεζες, οι καταθέσεις προθεσμίας, τα κρατικά και ιδιωτικά ομόλογα, οι πωλήσεις μετοχών και άλλων περιουσιακών στοιχείων κλπ.). Σε αυτό το υπομοντέλο θεωρούνται γνωστά: οι τιμές κάθε καταναλωτικού αγαθού, το εισόδημα του νοικοκυριού και το επιτόκιο της αγοράς. Η συνάρτηση χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού (καταναλωτή) αποτελείται από στάδια αποφάσεων. Συνοπτικά τα στάδια αυτά φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 3-2:



Σχήμα 3-2: Διάρθρωση της απόφασης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή στο μοντέλο GEME3-RD Όπου:

- Μη διαρκή αγαθά
- Φαγητό
 - Ένδυση
 - Σπίτια (ενοίκιο, δάνειο, συντήρηση σπιτιού κ.α.)
 - Έπιπλα
 - Ιατροφαρμακευτική περίθαλψη
 - Τηλεπικοινωνίες
 - Αναψυχή
 - Εκπαίδευση
 - Άλλες υπηρεσίες

Η συνάρτηση χρησιμότητας δίνεται ακολούθως:

$$\begin{aligned}
\max_{\{HCFV_{fn2,r,s}\}} U_{r,t} & \quad s \in [t, \infty) \\
& = \sum_{s=t}^{\infty} (1 + stp_{r,t})^{t-s} \\
& \quad \cdot \sum_{fn2} bhcfv_{fn2,r,s} \cdot \ln(HCFV_{fn2,r,s} - chcfv_{fn2,r,s})
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Η μεγιστοποίηση γίνεται υπό τον ακόλουθο διαχρονικό περιορισμό εισοδήματος, όπου το διαθέσιμο εισόδημα μπορεί να καταναλωθεί είτε τώρα είτε κάποια στιγμή στο μέλλον:

$$\begin{aligned}
& \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \\
& \quad \cdot \left(\sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot HCFV_{fn2,r,s} - pHCFV_{fn2,r,s} \cdot chcfv_{fn2,r,s} \right) \\
& = \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \\
& \quad \cdot \left(YDISP_{r,s} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot chcfv_{fn2,r,s} \right)
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Πίνακας 3-1: Δείκτες, μεταβλητές και παράμετροι του μοντέλου GEME3-RD

Δείκτες:	
r	Αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό
t, s	Χρονική περίοδος
$fn2$	Δείκτης των καταναλωτικών αγαθών στο δεύτερο επίπεδο
Μεταβλητές:	
$HCFV_{fn2,r,t}$	Κατανάλωση ανά κατηγορία σε όγκους
$pHCFV_{fn2,r,t}$	Τιμή της κατανάλωσης
$rltlr_{r,s}$	Επιτόκιο της αγοράς
Παράμετροι:	
$stp_{r,t}$	Επιτόκιο προεξόφλησης του νοικοκυριού
$chcfv_{fn2,r,t}$	Ελάχιστη κατανάλωση σε όγκο
$bhcfv_{fn2,r,t}$	Μερίδια της συνάρτησης LES ανά κατηγορία

Απλοποιώντας το πρόβλημα υποθέτουμε μωωπικές προσδοκίες για το μέλλον. Συνεπώς, το δεξί μέλος της εξίσωσης (3.2) αυξάνει με έναν σταθερό ρυθμό¹⁶ $f_{r,t}$ (ο οποίος είναι μηδέν αν ο πληθωρισμός στο μοντέλο είναι μηδέν) και μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned}
 (3.2) &= \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \cdot \left(YDISP_{r,s} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot chcfv_{fn,r,s} \right) \\
 &= \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,t})^{t-s} \cdot (1 + f_{r,t})^{s-t} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right) \\
 &= \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn} pHCFV_{fn,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right) \cdot \sum_{s=t}^{\infty} \left(\frac{1 + rltlr_{r,t}}{1 + f_{r,t}} \right)^{t-s} \\
 &= \frac{1 + rltlr_{r,t}}{rltlr_{r,t} - f_{r,t}} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn,r,t} \right) \\
 &\approx \frac{1}{rltlr_{r,t}} \cdot \left(YDIS_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn,r,t} \right)
 \end{aligned}$$

Οπότε η (3.2) μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned}
 &\sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \\
 &\quad \cdot \left(\sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot HCFV_{fn2,r,s} - pHCFV_{fn2,r,s} \right. \\
 &\quad \left. \cdot chcfv_{fn2,r,s} \right) \tag{3.3} \\
 &\leq \frac{1}{rltlr_{r,t}} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right)
 \end{aligned}$$

Για την επίλυση του προβλήματος του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού ορίζεται η ακόλουθη συνάρτηση Lagrange $\mathcal{L}_{r,t}$, όπου η μεταβλητή $\lambda_{r,t}$ είναι ο πολλαπλασιαστής Lagrange για τον διαχρονικό περιορισμό εισοδήματος:

¹⁶ Ο ρυθμός αυτός αύξησης αντιστοιχεί στον αναμενόμενο ρυθμό αύξησης του εισοδήματος του νοικοκυριού, ο οποίος υποθέτουμε ότι είναι ίσος με το ρυθμό αύξησης των τιμών (συνεπώς η καταναλωτική δύναμη παραμένει σταθερή).

$$\mathcal{L}_{r,t} = \sum_{s=t}^{\infty} (1 + stp_{r,t})^{t-s} \cdot \sum_{fn2} bchfv_{fn2,r,s} \cdot \ln(HCFV_{fn2,r,s} - chcfv_{fn2,r,s}) - \lambda_{r,t} \cdot \left(\sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \cdot \left(\sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot HCFV_{fn2,r,s} - pHCFV_{fn2,r,s} \cdot chcfv_{fn2,r,s} \right) - \frac{1}{rltlr_{r,t}} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right) \right) \quad (3.4)$$

Οπότε οι συνθήκες Kuhn-Tucker έχουν ως εξής:

$$\frac{\partial \mathcal{L}_{r,t}}{\partial HCFV_{fn2,r,s}} \leq 0, \quad \forall s \in [t, \infty) \perp HCFV_{fn2,r,s} \geq 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}_{r,t}}{\partial \lambda_{r,t}} \geq 0 \quad \perp \quad \lambda_{r,t} \geq 0$$

Το σύμβολο \perp υποδεικνύει τη συμπληρωματικότητα μεταξύ του όρου $\frac{\partial \mathcal{L}_{r,t}}{\partial HCFV_{fn2,r,s}}$ και $HCFV_{fn2,r,s}$. Στην περίπτωση που κάποια εξίσωση ικανοποιείται σαν ανισότητα τότε η συμπληρωματική της θα ικανοποιείται με ισότητα. Το ίδιο ισχύει και για την εξίσωση του εισοδηματικού περιορισμού του νοικοκυριού. Οπότε έχουμε:

$$(1 + stp_{r,t})^{t-s} \cdot \frac{bchfv_{fn2,r,s}}{HCFV_{fn2,r,s} - chcfv_{fn2,r,s}} \leq \lambda_{r,t} \cdot (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \cdot pHCFV_{fn2,r,s}$$

ή

$$HCFV_{fn2,r,s} \geq chcfv_{fn2,r,s} + \left(\frac{1 + stp_{r,t}}{1 + rltlr_{r,s}} \right)^{t-s} \cdot \frac{bchfv_{fn2,r,s}}{\lambda_{r,t} \cdot pHCFV_{fn2,r,s}}, \quad \forall s \in [t, \infty) \perp HCFV_{fn2,r,s} \geq 0 \quad (3.5)$$

Και

$$\frac{1}{rltlr_{r,t}} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right) \geq \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \cdot \left(\sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,s} \cdot HCFV_{fn2,r,s} - pHCFV_{fn2,r,s} \cdot chcfv_{fn2,r,s} \right) \perp \lambda_{r,t} \geq 0$$

Αντικαθιστώντας την (3.5):

$$\frac{1}{rltlr_{r,t}} \cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn2,r,t} \right) \geq \sum_{s=t}^{\infty} (1 + rltlr_{r,s})^{t-s} \cdot \left(\frac{1 + stp_{r,t}}{1 + rltlr_{r,s}} \right)^{t-s} \cdot \frac{1}{\lambda_{r,t}} \perp \lambda_{r,t} \geq 0$$

ή

$$\lambda_{r,t} \geq rltlr_{r,t} \cdot \frac{1}{YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn2,r,t} \cdot chcfv_{fn,r,t}} \cdot \sum_{s=t}^{\infty} (1 + stp_{r,t})^{t-s} \perp \lambda_{r,t} \geq 0$$

ή

$$\lambda_{r,t} \geq \frac{rltlr_{r,t}}{stp_{r,t}} \cdot \frac{1}{YDISP_{r,t} - \sum_{fn2} pHCFV_{fn,r,t} \cdot chcfv_{fn,r,t}} \perp \lambda_{r,t} \geq 0$$

Οπότε η (3.5) μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned} HCFV_{fn,r,s} &\geq chcfv_{fn,r,s} + \left(\frac{1 + stp_{r,t}}{1 + rltlr_{r,s}} \right)^{t-s} \cdot \frac{bchcfv_{fn2,r,s}}{\lambda_{r,t} \cdot pHCFV_{fn,r,s}} \\ HCFV_{fn2,r,s} &\geq chcfv_{fn2,r,s} + \left(\frac{1 + stp_{r,t}}{1 + rltlr_{r,s}} \right)^{t-s} \cdot \frac{stp_{r,t}}{rltlr_{r,t} \cdot pHCFV_{fn,r,t}} \cdot bchcfv_{fn2,r,s} \\ &\cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fr2} pHCFV_{fr2,r,t} \cdot chcfv_{fr,r,t} \right), \quad (3.6) \\ \forall s \in [t, \infty) \perp HCFV_{fn2,r,s} &\geq 0 \end{aligned}$$

Οπότε, για $s=t$:

$$\begin{aligned} HCFV_{fn2,r,t} &\geq chcfv_{fn2,r,t} + \frac{stp_{r,t}}{rltlr_{r,t}} \cdot \frac{bchcfv_{fn2,r,t}}{pHCFV_{fn,r,t}} \\ &\cdot \left(YDISP_{r,t} - \sum_{fr2} pHCFV_{fr,r,t} \cdot chcfv_{fr,r,t} \right) \perp HCFV_{fn2,r,t} \geq 0 \quad (3.7) \end{aligned}$$

Η μέση ροπή προς κατανάλωση πέρα της ελάχιστης κατανάλωσης είναι:

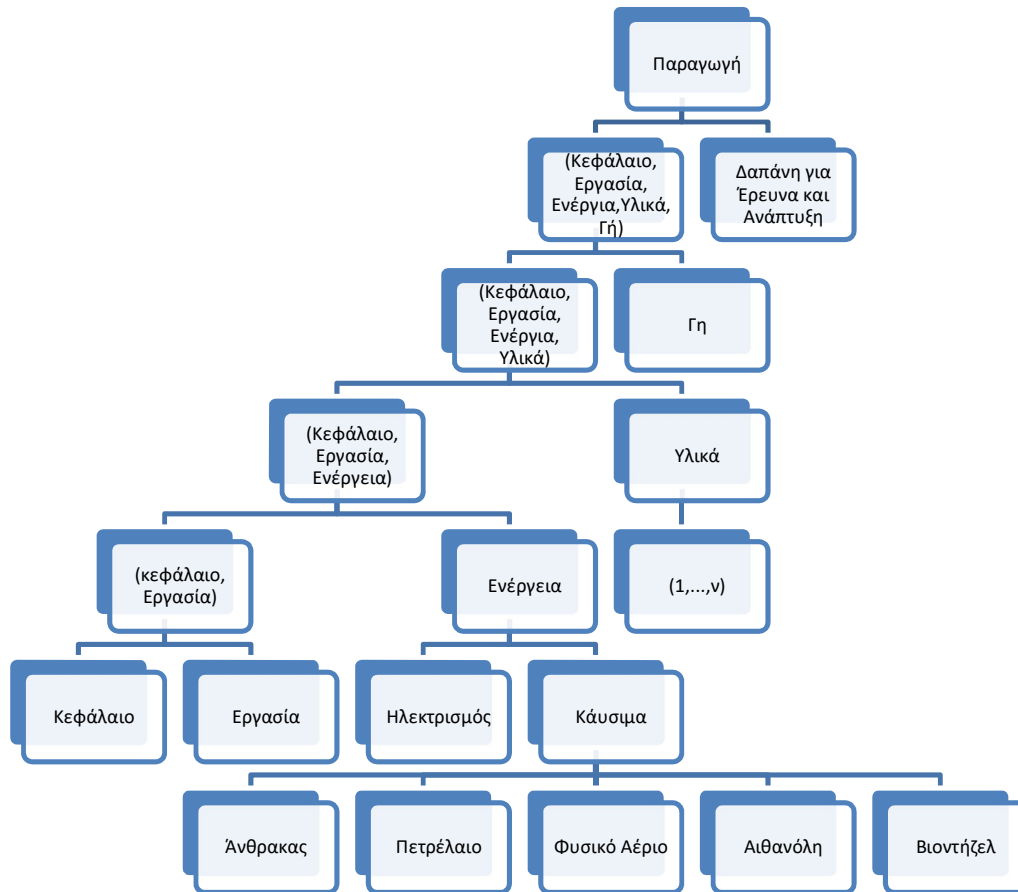
$$OPK_{r,t} \equiv \frac{\sum_{fr2} pHCFV_{fr2,r,t} \cdot (HCFV_{fn,r,t} - chcfv_{fr2,r,t})}{YDISP_{r,t} - \sum_{fr} pHCFV_{fr2,r,t} \cdot chcfv_{fr,r,t}} = \frac{stp_{r,t}}{rltlr_{r,t}}$$

Σε πρώτο στάδιο αποφασίζεται το ποσοστό του διαθέσιμου εισοδήματος (του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού) προς κατανάλωση και το αντίστοιχο προς αποταμίευση. Η σχέση του επιτοκίου με την κατανάλωση είναι αντιστρόφως ανάλογη. Όσο το επιτόκιο μεγαλώνει, τόσο πιο ελκυστική γίνεται η αποταμίευση, συνεπώς τόσο μικρότερο θα είναι το μερίδιο της κατανάλωσης και αντίστροφα. Σε δεύτερο στάδιο, η κατανάλωση μοιράζεται βέλτιστα στα διαθέσιμα καταναλωτικά αγαθά ($fn2$, βλέπε Παράρτημα Κεφαλαίου Πίνακας 3-8).

3.4. Επιχειρήσεις

Σε αυτήν την υποενότητα θα αναπτύξουμε το υπομοντέλο των επιχειρήσεων. Έχει γίνει η υπόθεση στο μοντέλο ότι για κάθε κλάδο της οικονομίας υπάρχει ένας αντιπροσωπευτικός παραγωγός (επιχείρηση) ο οποίος παράγει ένα μοναδικό ομοιογενές προϊόν, που είναι διαφοροποιημένο από τα υπόλοιπα αγαθά που υπάρχουν στην οικονομία. Για κάθε αγαθό υπάρχει μια συγκεκριμένη αγορά στην οποία προσφέρεται. Η αντιπροσωπευτική επιχείρηση επιθυμεί την μεγιστοποίηση των κερδών ή ισοδύναμα την ελαχιστοποίηση του κόστους της (αφού βρίσκεται υπό το καθεστώς του τέλειου ανταγωνισμού) υπό τον περιορισμό της συνάρτησης παραγωγής. Η γενική συναρτησιακή μορφή που χρησιμοποιήθηκε για τον τρόπο παραγωγής της επιχείρησης είναι μια nested-CES (δηλαδή φωλιασμένες συναρτήσεις σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης) και είναι ιεραρχικά δομημένη σύμφωνα με τις διαθέσιμες ελαστικότητες υποκατάστασης¹⁷. Το μοντέλο κάνει διάκριση στην συναρτησιακή μορφή που προσομοιώνει τον τρόπο παραγωγής του κάθε κλάδου. Οι εισροές που χρησιμοποιεί η κάθε επιχείρηση διακρίνονται στους πρωτογενείς συντελεστές παραγωγής (κεφάλαιο, γη, αποθέματα και εργασία) και τις ενδιάμεσες εισροές προϊόντων που παράγονται από άλλες επιχειρήσεις.

¹⁷ Οι ελαστικότητες υποκατάστασης έχουν προκύψει από τη σχετική βιβλιογραφία ((P Carros, van Regemorter, et al. 2013), ενότητα 7.2, σελίδες 82-86) και έχουν προσαρμοστεί στην κλαδική λεπτομέρεια του μοντέλου.



Σχήμα 3-3: Γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής στο GEME3-RD

Οι χρήσεις των συντελεστών παραγωγής είναι ενδογενείς αποφάσεις του μοντέλου και η επιλογή τους βασίζεται στις σχετικές τους τιμές μέσω μιας συνάρτησης που καθορίζει τους δυνατούς συνδυασμούς για δεδομένη παραγωγή. Οι δυνατότητες υποκατάστασης ανάμεσα στους συντελεστές παραγωγής βασίζονται στο δέντρο¹⁸ υποκαταστασιμότητας που παρουσιάζεται στο σχήμα.

¹⁸ Το παρακάτω δέντρο υποκαταστασιμότητας αφορά την γενική μορφή που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο GEME3-RD (default) τα δέντρα για τους υπόλοιπους κλάδους του μοντέλου παρουσιάζονται στο παράρτημα του κεφαλαίου και αφορά τους εξής τομείς: Τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού, Προσφορά και διανομή ηλεκτρισμού, Παραγωγή αργού πετρελαίου και Παραγωγή πετρελαιοειδών.

Διαφορετικά δέντρα χρησιμοποιήθηκαν στους κλάδους παραγωγής και διανομής ηλεκτρισμού, παραγωγής αργού πετρελαίου και διύλισης πετρελαίου, ώστε να αναπαρασταθούν ρεαλιστικότερα οι υποκαταστάσεις στα διάφορα επίπεδα της συνάρτησης CES. (Παρουσιάζονται στο Παράρτημα του Κεφαλαίου οι συναρτησιακές μορφές των διαφορετικών κλάδων). Όλα τα επίπεδα είναι σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης εκτός από το πρώτο στάδιο στο οποίο ο παραγωγός επιλέγει πόσο θα δαπανήσει σε Έρευνα και Ανάπτυξη¹⁹.

Η γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής nested-CES που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο GEME3-RD δίνεται ακολούθως:

$$\frac{XD_{j,r,s}}{XD_{j,r,t}} = \frac{tfp_{j,r,s}}{tfp_{j,r,t}} \cdot \left(\theta_{j,r,s}^{LAND} \cdot \left(\frac{LAND_{j,r,s}}{LAND_{j,r,t}} \right)^{\frac{\sigma_0-1}{\sigma_0}} + \theta_{j,r,s}^{KLEM} \cdot \left(\frac{KLEM_{j,r,s}}{KLEM_{j,r,t}} \right)^{\frac{\sigma_0-1}{\sigma_0}} \right)^{\frac{\sigma_0}{\sigma_0-1}}$$

$$\frac{KLEM_{j,r,s}}{KLEM_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{KLE} \cdot \left(\frac{KLE_{j,r,s}}{KLE_{j,r,t}} \right)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + \theta_{j,r,s}^{MA} \cdot \left(\frac{MA_{j,r,s}}{MA_{j,r,t}} \cdot QFI_{MA,j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} \right)^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}}$$

$$\frac{KLE_{j,r,s}}{KLE_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{KL} \cdot \left(\frac{KL_{j,r,s}}{KL_{j,r,t}} \right)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + \theta_{j,r,s}^{ENG} \cdot \left(\frac{ENG_{j,r,s}}{ENG_{j,r,t}} \right)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} \right)^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}}$$

$$\frac{MA_{j,r,s}}{MA_{j,r,t}} = \left(\sum_{prma} \theta_{prma,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{IOV_{prma,j,r,s}}{IOV_{prma,j,r,t}} \cdot gM_{prma,j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_3-1}{\sigma_3}} \right)^{\frac{\sigma_3}{\sigma_3-1}}$$

$$\frac{KL_{j,r,s}}{KL_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{KAV} \cdot \left(\frac{KAV_{j,r,s}}{KAV_{j,r,t}} \cdot QFI_{KA,j,r,s} \cdot gK_{j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_4-1}{\sigma_4}} + \theta_{j,r,s}^{LAV} \cdot \left(\frac{LAV_{j,r,s}}{LAV_{j,r,t}} \cdot QFI_{LA,j,r,s} \cdot gL_{j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_4-1}{\sigma_4}} \right)^{\frac{\sigma_4}{\sigma_4-1}}$$

$$\frac{ENG_{j,r,s}}{ENG_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{ENL} \cdot \left(\frac{ENL_{j,r,s}}{ENL_{j,r,t}} \cdot QFI_{EL,j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_5-1}{\sigma_5}} + \theta_{j,r,s}^{EN} \cdot \left(\frac{EN_{j,r,s}}{EN_{j,r,t}} \cdot QFI_{EN,j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_5-1}{\sigma_5}} \right)^{\frac{\sigma_5}{\sigma_5-1}}$$

¹⁹ Οι υπηρεσίες Έρευνας και Ανάπτυξης είναι ξεχωριστός κλάδος του μοντέλου. Η ζήτηση της υπηρεσίας Έρευνας και Ανάπτυξης αποτελεί μια από τις επεκτάσεις της παρούσας διατριβής, όπου παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.

$$\frac{EN_{j,r,s}}{EN_{j,r,t}} = \left(\sum_{pre} \theta_{pre,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{IOV_{pre,j,r,s}}{IOV_{pre,j,r,t}} \cdot gE_{pre,j,r,s} \right)^{\frac{\sigma_6-1}{\sigma_6}} \right)^{\frac{\sigma_6}{\sigma_6-1}}$$

$$\frac{ENL_{j,r,s}}{ENL_{j,r,t}} = \frac{IOV_{prele,j,r,s}}{IOV_{prele,j,r,t}} \cdot gE_{prele,j,r,s}$$

Πίνακας 3-2: Δείκτες του προβλήματος ελαχιστοποίησης κόστους της επιχείρησης

Δείκτες:	
r, c	Χώρα/περιοχή του μοντέλου
t	Τρέχουσα χρονική περίοδος
s	Περίοδος προσομοίωσης του μοντέλου
j	Αντιπροσωπευτική επιχείρηση κάθε κλάδου (από την πλευρά της προσφοράς)
pre	Ενεργειακοί κλάδοι
$prele$	Κλάδος παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
$prma$	Κλάδοι υλικών και άλλων εκτός του κλάδου Έρευνας και Ανάπτυξης
f	Όλοι οι συντελεστές παραγωγής (Κεφάλαιο "ΚΑ", Εργασία "ΛΑ", Ηλεκτρισμός "ΕΛ", Ενέργεια "ΕΝ", Υλικά και άλλα "ΜΑ")

Πίνακας 3-3: Παράμετροι του προβλήματος ελαχιστοποίησης κόστους της επιχείρησης

Παράμετροι:	
$\theta_{j,s}^{factor}$	Μερίδια αξίας της συνάρτησης παραγωγής σταθερής ελαστικότητας CES για κάθε συντελεστή παραγωγής
$\sigma_{*,j,r,s}$	Ελαστικότητα της συνάρτησης παραγωγής CES στο επίπεδο που ανήκει ο συντελεστής παραγωγής
gK, gL, gM, gE	Εξωγενής αθροιστικός δείκτης της τεχνολογικής μεταβολής για το Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια, Υλικά και άλλα

Πίνακας 3-4: Μεταβλητές του προβλήματος ελαχιστοποίησης κόστους της επιχείρησης

Κύριες Μεταβλητές:	
$LAND_{j,r,s}$	Ζήτηση Γης
$KAV_{j,r,s}$	Ζήτηση Κεφαλαίου
$LAV_{j,r,s}$	Ζήτηση Εργασίας
$IOV_{i,j,r,s}$	Ζήτηση για ενδιάμεσα αγαθά
$XD_{j,r,s}$	Παραγωγή αγαθού
$pLAND_{j,r,s}$	Τιμή ενοικίου Γης
$pK_{j,r,s}$	Τιμή Κεφαλαίου

$pL_{j,r,s}$	Τιμή Εργασίας
$pIO_{i,r,s}$	Τιμή ενδιάμεσων αγαθών
$pEUPR_{i,j,r,s}$	Τιμή ενδιάμεσων αγαθών μετά φόρων ενέργειας
$pD_{j,r,s}$	Συνολικό κόστος Παραγωγής
$pDBSR_{j,r,s}$	Κόστος παραγωγής εκτός του κόστους της δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη
$tfp_{j,r,s}$	Δείκτης συνολικής παραγωγικότητας του κλάδου
$QFI_{f,j,r,s}$	Ενδογενής αθροιστικός δείκτης της τεχνολογικής μεταβολής για το Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια, Υλικά και άλλα
Ενδιάμεσες Μεταβλητές:	
$KLEM_{j,r,s}$	Ζήτηση για Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια και Υλικά
$KLE_{j,r,s}$	Ζήτηση για Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια
$MA_{j,r,s}$	Ζήτηση για Υλικά
$KL_{j,r,s}$	Ζήτηση για Κεφάλαιο, Εργασία
$ENG_{j,r,s}$	Ζήτηση για Ενέργεια
$EN_{j,r,s}$	Ζήτηση για Καύσιμα
$ENL_{j,r,s}$	Ζήτηση για Ηλεκτρική Ενέργεια
$pKLEM_{j,r,s}$	Τιμή για Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια και Υλικά
$pKLE_{j,r,s}$	Τιμή για Κεφάλαιο, Εργασία, Ενέργεια
$pM_{j,r,s}$	Τιμή για Υλικά
$pKL_{j,r,s}$	Τιμή για Κεφάλαιο, Εργασία
$pENG_{j,r,s}$	Τιμή για Ενέργεια
$pEN_{j,r,s}$	Τιμή για Καύσιμα
$pENL_{j,r,s}$	Τιμή για Ηλεκτρική Ενέργεια

Χωρίζουμε τους κλάδους σε δύο κατηγορίες, στους κλάδους που παράγουν νέες «καθαρές» τεχνολογίες (τέτοιοι για παράδειγμα είναι οι τεχνολογίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των φωτοβολταϊκών) και στους κλάδους οι οποίοι παράγουν παλαιές τεχνολογίες (ώριμες). Στο μοντέλο υπάρχουν έξι διαφορετικά είδη τεχνολογικής μεταβολής, ένα για κάθε συντελεστή παραγωγής (τεχνολογική μεταβολή του Κεφαλαίου, Εργασίας, Ηλεκτρισμού, Καυσίμων, Υλικών) και ένα συνολικής τεχνολογικής μεταβολής²⁰ (total factor productivity).

²⁰ Στο τυπικό μοντέλο GEMEZ αυτές οι τεχνικές αλλαγές είναι εξωγενείς στο μοντέλο, αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή τους έρχεται «ως μάννα εξ' ουρανού», δεν εξαρτάται από την δαπάνη που έχει κάνει η κάθε επιχείρηση και κατά συνέπεια είναι δωρεάν. Στην επέκταση του μοντέλου που παρουσιάζεται στη διατριβή GEMEZ-RD, αυτές οι τεχνικές αλλαγές είναι ενδογενείς στο μοντέλο και εξαρτώνται άμεσα από τις δαπάνες για Έρευνα και Ανάπτυξη που κάνει η κάθε επιχείρηση, αλλά και από την δαπάνη των άλλων επιχειρήσεων εξαιτίας της διάδοσης της γνώσης (αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο).

Η συμπεριφορά του παραγωγού μπορεί να αποτυπωθεί μαθηματικά με το ακόλουθο πρόβλημα βελτιστοποίησης: Ο αντιπροσωπευτικός παραγωγός του κλάδου (j) έχει ως σκοπό να μεγιστοποιήσει τα κέρδη (Π_j) του επιλέγοντας βέλτιστα μεταξύ των πρωταρχικών συντελεστών παραγωγής και των ενδιάμεσων αγαθών ($IOV_{i,j}$) δεδομένων των τιμών και της συνάρτησης παραγωγής. Η επιχείρηση επιλέγει την βέλτιστη «τεχνολογία», δηλαδή τον βέλτιστο συνδυασμό συντελεστών παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογική πρόοδο του κάθε συντελεστή παραγωγής. Η απόφαση για Έρευνα και Ανάπτυξη θεωρείται γνωστή σε αυτό το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Το πρόβλημα του παραγωγού γράφεται ως εξής:

$$\max \Pi_j = pdbsr_j \cdot XD_j - pK_j \cdot KAV_j - pL_j \cdot LAV_j - pLAND_j \cdot LAND_j - \sum_i pIO_i \cdot IOV_{i,j}$$

Από την μεγιστοποίηση της συνάρτησης κέρδους της αντιπροσωπευτικής επιχείρησης προκύπτουν οι ακόλουθες συναρτήσεις ζήτησης των συντελεστών παραγωγής:

$$LAV_{j,r,s} = KL_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{LA} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,t}}{pL_{j,r,t}} \right) \cdot (QFI_{LA,j,r,s} \cdot gL_{j,r,s})^{\sigma_4 - 1} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,t}}{pL_{j,r,t}} \right)^{\sigma_4}$$

$$KAV_{j,r,s} = KL_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{KA} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,t}}{pK_{j,r,t}} \right) \cdot (QFI_{KA,j,r,s} \cdot gK_{j,r,s})^{\sigma_4 - 1} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,t}}{pK_{j,r,t}} \right)^{\sigma_4}$$

$$LAND_{j,r,s} = XD_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{LAND} \cdot \left(\frac{pdbsr_{j,r,t}}{pLAND_{j,r,t}} \right) \cdot (tfp_{j,r,s})^{\sigma_0 - 1} \cdot \left(\frac{pdbsr_{j,r,t}}{pLAND_{j,r,t}} \right)^{\sigma_0}$$

$$IOV_{prma,j,r,s} = MA_{j,r,s} \cdot \theta_{prma,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{pMA_{j,r,t}}{pIO_{prma,r,t}} \right) \cdot (gM_{prma,j,r,s})^{\sigma_3 - 1} \cdot \left(\frac{pM_{j,r,t}}{pIO_{prma,r,t}} \right)^{\sigma_4}$$

$$IOV_{pre,j,r,s} = EN_{j,r,s} \cdot \theta_{pre,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{pEN_{j,r,t}}{pIO_{pre,r,t}} \right) \cdot (gE_{pre,j,r,s})^{\sigma_6 - 1} \cdot \left(\frac{pEN_{j,r,t}}{pEU_{pre,j,r,t}} \right)^{\sigma_4}$$

$$\begin{aligned}
IOV_{prele,j,r,s} &= ENL_{j,r,s} \cdot \theta_{prele,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{pEL_{j,r,t}}{pIO_{prele,r,t}} \right) \cdot (gE_{prele,j,r,s})^{-1} \\
KLEM_{j,r,s} &= XD_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{KLEM} \cdot \left(\frac{pdbsr_{j,r,t}}{pKLEM_{j,r,t}} \right) \cdot (tfp_{j,r,s})^{\sigma_0-1} \cdot \left(\frac{\frac{pdbsr_{j,r,s}}{pdbsr_{j,r,t}}}{\frac{pKLE_{j,r,s}}{pKLEM_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_0} \\
KLE_{j,r,s} &= KLEM_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{KLE} \cdot \left(\frac{pKLEM_{j,r,t}}{pKLE_{j,r,t}} \right) \cdot \left(\frac{\frac{pKLEM_{j,r,s}}{pKLEM_{j,r,t}}}{\frac{pKL_{j,r,s}}{pKLE_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_1} \\
ENG_{j,r,s} &= KLE_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{ENG} \cdot \left(\frac{pKLE_{j,r,t}}{pENG_{j,r,t}} \right) \cdot \left(\frac{\frac{pKLE_{j,r,s}}{pKLE_{j,r,t}}}{\frac{pENG_{j,r,s}}{pENG_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_2} \\
KL_{j,r,s} &= KLE_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{KL} \cdot \left(\frac{pKLE_{j,r,t}}{pKL_{j,r,t}} \right) \cdot \left(\frac{\frac{pKLE_{j,r,s}}{pKLE_{j,r,t}}}{\frac{pKL_{j,r,s}}{pKL_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_2} \\
EN_{j,r,s} &= ENG_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{EN} \cdot \left(\frac{pENG_{j,r,t}}{pE_{j,r,t}} \right) \cdot (QFI_{EN,j,r,s})^{\sigma_3-1} \cdot \left(\frac{\frac{pENG_{j,r,s}}{pENG_{j,r,t}}}{\frac{pE_{j,r,s}}{pE_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_3} \\
ENL_{j,r,s} &= ENG_{j,r,s} \cdot \theta_{j,r,s}^{EL} \cdot \left(\frac{pENG_{j,r,t}}{pEL_{j,r,t}} \right) \cdot (QFI_{EL,j,r,s})^{\sigma_3-1} \cdot \left(\frac{\frac{pENG_{j,r,s}}{pENG_{j,r,t}}}{\frac{pEL_{j,r,s}}{pEL_{j,r,t}}} \right)^{\sigma_3}
\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω συναρτήσεις ζήτησης στην συνάρτηση παραγωγής λαμβάνουμε τις συναρτήσεις μοναδιαίου κόστους:

$$\begin{aligned}
\frac{pdbsr_{j,r,s}}{pdbsr_{j,r,t}} &= \frac{tfp_{j,r,t}}{tfp_{j,r,s}} \cdot \left(\theta_{j,r,s}^{LAND} \cdot \left(\frac{pLAND_{j,r,s}}{pLAND_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_0} + \theta_{j,r,s}^{LAND} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,s}}{pKLEM_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_0} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_0}} \\
\frac{pKLEM_{j,r,s}}{pKLEM_{j,r,t}} &= \left(\theta_{j,r,s}^{LEM} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,s}}{pKLE_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_1} + \theta_{j,r,s}^{MA} \cdot \left(\frac{pM_{j,r,s}}{pM_{j,r,t} \cdot QFI_{MA,j,r,s}} \right)^{1-\sigma_1} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_1}}
\end{aligned}$$

$$\frac{pKL_{j,r,s}}{pKLE_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{KL} \cdot \left(\frac{pKL_{j,r,s}}{pKL_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_2} + \theta_{j,r,s}^{ENG} \cdot \left(\frac{pENG_{j,r,s}}{pENG_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_2} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_2}}$$

$$\frac{pM_{j,r,s}}{pM_{j,r,t}} = \left(\sum_{pre} \theta_{pre,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{pIO_{pre,j,r,s}}{pIO_{pre,j,r,t} \cdot gM_{pre,j,r,s}} \right)^{1-\sigma_3} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_3}}$$

$$\frac{pKL_{j,r,s}}{pKL_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^K \cdot \left(\frac{pK_{j,r,s}}{pK_{j,r,t} \cdot QFI_{KA,j,r,s} \cdot gK_{j,r,s}} \right)^{1-\sigma_4} + \theta_{j,r,s}^L \cdot \left(\frac{pL_{j,r,s}}{pL_{j,r,t} \cdot QFI_{LA,j,r,s} \cdot gL_{j,r,s}} \right)^{1-\sigma_4} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_4}}$$

$$\frac{pENG_{j,r,s}}{pENG_{j,r,t}} = \left(\theta_{j,r,s}^{EN} \cdot \left(\frac{pE_{j,r,s}}{pE_{j,r,t} \cdot QFI_{EN,j,r,s}} \right)^{1-\sigma_5} + \theta_{j,r,s}^{ENG} \cdot \left(\frac{pEL_{j,r,s}}{pEL_{j,r,t}} \right)^{1-\sigma_5} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_5}}$$

$$\frac{pE_{j,r,s}}{pE_{j,r,t}} = \left(\sum_{pre} \theta_{pre,j,r,s}^{IO} \cdot \left(\frac{pE_{pre,j,r,s}}{pEUPR_{pre,j,r,t} \cdot gE_{pre,j,r,s}} \right)^{1-\sigma_6} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_6}}$$

$$\frac{pEL_{j,r,s}}{pEL_{j,r,t}} = \frac{pEUPR_{pre,j,r,t}}{pEUPR_{pre,j,r,t} \cdot gE_{pre,j,r,s}}$$

3.5. Επένδυση

Μια από τις εξισώσεις που καθορίζουν τη δυναμικότητα του μοντέλου είναι και η εξίσωση της συνάρτησης ζήτησης για επένδυση. Οι επενδύσεις στο μοντέλο GEME3-RD προκύπτουν συγκρίνοντας το διαθέσιμο απόθεμα κεφαλαίου με το επιθυμητό επίπεδο της επόμενης περιόδου, λαμβάνοντας υπόψη τις προσδοκίες των παραγωγών και την απαξίωση του κεφαλαίου παλαιότερων ετών. Έτσι, οι παραγωγοί αποφασίζουν να επενδύσουν για να καλύψουν την μελλοντική ζήτηση κεφαλαίου.

Το επιθυμητό απόθεμα κεφαλαίου προκύπτει από το πρόβλημα μεγιστοποίησης κέρδους, στο οποίο ο παραγωγός επιθυμεί να πετύχει τη βέλτιστη μακροχρόνια απόδοση του κεφαλαίου²¹, με δεδομένες τις προσδοκίες του για το μέλλον, θεωρώντας σταθερό ρυθμό αντικατάστασης του κεφαλαίου και σταθερό ρυθμό μεταβολής της παραγωγικότητάς του.

²¹ Ο υπολογισμός της τιμής της βέλτιστης μακροχρόνιας απόδοσης του κεφαλαίου βρίσκεται στο παράρτημα του κεφαλαίου (3.14.1)

Οι επενδύσεις κατά κλάδο μετασηματίζονται μέσω του πίνακα επενδύσεων με σταθερούς τεχνικούς συντελεστές, σε επενδύσεις κατά προϊόν, οι οποίες αποτελούν ζήτηση για τους αντίστοιχους κλάδους παραγωγής.

Η συνάρτηση ζήτησης των επενδύσεων στο μοντέλο GEME3-RD βασίζεται στην συνάρτηση των Ando-Modiglianni (A. K. Ando et al. 1974), που είναι συνδυασμός του υποδείγματος AM (accelerator model) και του υποδείγματος q του (Tobin 1969).

Από τη μεγιστοποίηση του προβλήματος του παραγωγού προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{\partial f(K, L, IOV)}{\partial K} \cdot pXD = pK \perp K \quad (3.8)$$

Όπου $XD = f(K, L, IOV)$ η παραγωγή του κλάδου, $f(K, L, IOV)$ η συνάρτηση παραγωγής του και K, L, IOV το κεφάλαιο, η εργασία και η ζήτηση για ενδιάμεσα αγαθά που απαιτείται αντίστοιχα.

Η επένδυση είναι η διαφορά του βέλτιστου κεφαλαίου της επόμενης περιόδου που οδηγεί σε αμοιβή του κεφαλαίου ίση με αυτή της μακροχρόνιας ισορροπίας και του κεφαλαίου της τρέχουσας περιόδου συν την απόσβεση του στο χρόνο.

Έτσι, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$INVV_t = \Delta K^*$$

Ισοδύναμα:

$$INVV_t = \frac{K^* - (1 - \delta)^T \cdot KAV_t}{\frac{1 - (1 - \delta)^T}{\delta}}$$

Από την εξίσωση (3.8) παίρνουμε τις σχέσεις για την ιδανική κατάσταση της επόμενης περιόδου και αυτήν της τρέχουσας περιόδου:

$$KAV^* = XD^* \cdot \left(\frac{pXD^*}{pK^*} \cdot \delta_K \right)^\sigma \cdot e^{tgk^* \cdot (\sigma-1)} \cdot tfp^{*(\sigma-1)}$$

Γενικά ισχύει:

$$KAV_t = XD_t \cdot \left(\frac{pXD_t}{pK_t} \cdot \delta_K \right)^\sigma \cdot e^{tgk_t \cdot (\sigma-1)} \cdot tfp_t^{(\sigma-1)}$$

Η τελευταία ισοδύναμα γράφεται:

$$\frac{KAV_t \cdot (pK_t)^\sigma}{e^{tgk_t \cdot (\sigma-1)} \cdot tfp_t^{(\sigma-1)}} = XD_t \cdot (pXD_t \cdot \delta_K)^\sigma \quad (3.9)$$

Έτσι η εξίσωση της επένδυσης διαμορφώνεται ως εξής:

$$INVV_t = \frac{XD^* \cdot \left(\frac{pXD^*}{pK^*} \cdot \delta_K\right)^\sigma - (1-\delta)^T \cdot KAV_t}{\frac{1 - (1-\delta)^T}{\delta}}$$

Αν υποθέσουμε ότι ο παραγωγός προσδοκά ότι η ετήσια αύξηση της ζήτησης του κλάδου είναι ίση με $stgr_t$ έχουμε:

$$XD^* = XD \cdot (1 + stgr_t)^T$$

Η τιμή της μακροχρόνιας απόδοση του κεφαλαίου προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$pK^* = pINV^* \cdot (rltlr^* + \delta)$$

Θεωρώντας μωπικές προσδοκίες για τις τιμές των αγαθών έχουμε:

$$pINV^* = pINV_t$$

$$pXD^* = pXD_t$$

Και με σταθερά επιτόκια:

$$rltlr^* = rltlr_t$$

Έτσι, έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$INVV_t \cdot \frac{1 - (1-\delta)^T}{\delta} = XD_t \cdot (1 + stgr_t)^{Tt} \cdot \left(\frac{pXD_t}{pINV_t \cdot (rltlr_t + \delta)} \cdot \delta_K\right)^\sigma \cdot e^{tgk^* \cdot (\sigma-1)} \cdot tfp^{*(\sigma-1)} - (1-\delta)^T \cdot KAV_t$$

Από την σχέση (3.9) έχουμε:

$$\begin{aligned} INVV_t \cdot \frac{1 - (1-\delta)^{Tt}}{\delta} &= KAV_t \cdot \left(\frac{pK_t}{pINV_t \cdot (rltlr_t + \delta)}\right)^\sigma \cdot e^{(tgk^* - tgk_t) \cdot (\sigma-1)} \cdot \left(\frac{tfp^*}{tfp_t}\right)^{(\sigma-1)} \cdot (1 + stgr_t)^{Tt} - (1-\delta)^{Tt} \cdot KAV_t \end{aligned}$$

Χρησιμοποιώντας την υπόθεση μη αυτόματης προσαρμογής του κεφαλαίου, μια ελαστικότητα τιμής (α_1) και μια ελαστικότητα μεταβολής παραγωγικότητας (α_2) η τελική εξίσωση επένδυσης παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned}
 INNV_t = a_0 \cdot & \left(KAV_t \cdot \left(\left(\frac{pK_t}{pINNV_t \cdot (r_t l_t r_t + \delta)} \right)^{\sigma - \alpha_1} \right. \right. \\
 & \left. \left. \cdot e^{(tgk_t - tgk_{t-1}) \frac{T_t}{T_{t-1}} \alpha_2 \cdot (\sigma - 1)} \cdot \left(\frac{tfp_t}{tfp_{t-1}} \right)^{(\sigma - 1) \frac{T_t}{T_{t-1}} \alpha_2} \cdot \frac{(1 + stgr_t)^{T_t}}{1 - (1 - \delta)^{T_t}} - \frac{(1 - \delta)^{T_t}}{1 - (1 - \delta)^{T_t}} \right) \right) \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

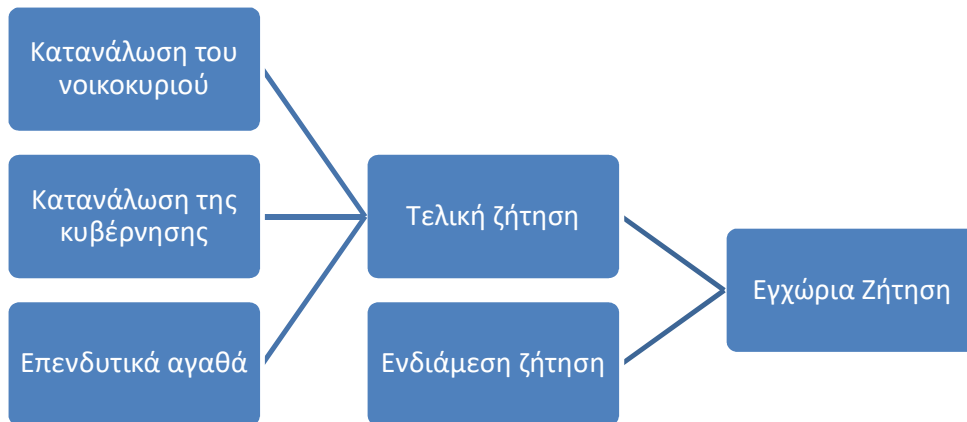
Όπου α_0 είναι η αντίστοιχη παράμετρος μ του υποδείγματος επιτάχυνσης AM (accelerator model), α_1 είναι η ελαστικότητα τιμής της επένδυσης και α_2 είναι η ελαστικότητα της τεχνολογικής προόδου.

Εφαρμόζοντας μια επαναληπτική μέθοδο²² τύπου Gauss-Seidel²³ και αντικαθιστώντας το $stgr$ με τον ρυθμό μεταβολής του κλάδου ($growth_t$), που προέκυψε από το προηγούμενο «τρέξιμο» του μοντέλου, η απόφαση για επένδυση του παραγωγού παύει να είναι μυωπική. Έτσι, η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$INNV_t = a_0 \cdot \left(KAV_t \cdot \left(\left(\frac{pK_t}{pINNV_t \cdot (r_t l_t r_t + \delta)} \right)^{\sigma - \alpha_1} \cdot e^{(tgk_t - tgk_{t-1}) \frac{T_t}{T_{t-1}} \alpha_2 \cdot (\sigma - 1)} \cdot \left(\frac{tfp_t}{tfp_{t-1}} \right)^{(\sigma - 1) \frac{T_t}{T_{t-1}} \alpha_2} \cdot \frac{(1 + growth_t)^{T_t}}{1 - (1 - \delta)^{T_t}} - \frac{(1 - \delta)^{T_t}}{1 - (1 - \delta)^{T_t}} \right) \right)$$

3.6. Εγχώρια Ζήτηση

Η συνολική εγχώρια ζήτηση αποτελείται από την ζήτηση καταναλωτικών και επενδυτικών αγαθών από τα νοικοκυριά την κυβέρνηση και τις επιχειρήσεις. Η κατανομή της εγχώριας ζήτησης περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα:



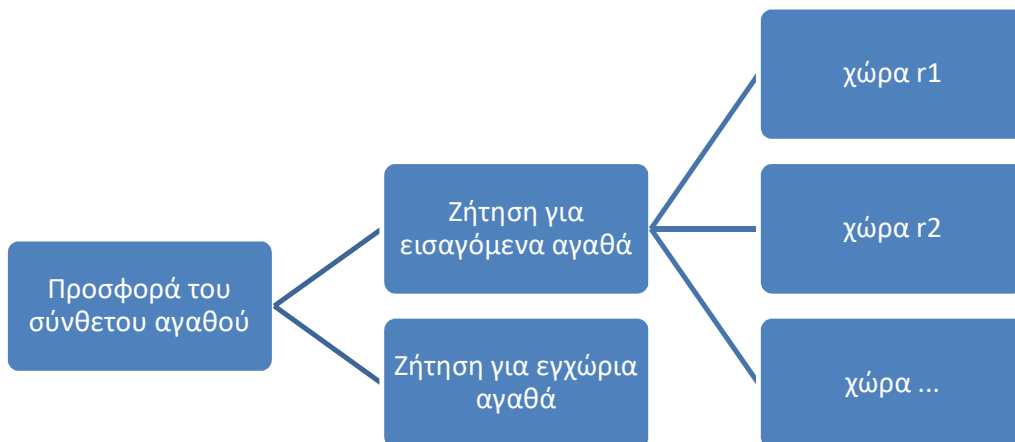
Σχήμα 3-4: Εγχώρια ζήτηση

²² Η μεθοδολογία παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 7.

²³ Η μέθοδος Gauss-Seidel λέγεται Seidel's method των Jeffreys & Jeffreys (Jeffreys and Jeffreys 1988)

Η συνολική εγχώρια ζήτηση ικανοποιείται από εγχώρια και εισαγόμενα αγαθά, ακολουθώντας την υπόθεση του (Armington 1969), σύμφωνα με την οποία τα αγαθά διαφορετικής προέλευσης θεωρούνται ως ατελή υποκατάστατα και η ανάμειξή τους δίνει το σύνθετο αγαθό. Ο παραγωγός του σύνθετου αγαθού επιδιώκει την ελαχιστοποίηση του συνολικού του κόστους, το οποίο προκύπτει από την αγορά των εισαγόμενων και εγχωρίως παραγόμενων αγαθών βάσει των σχετικών τους τιμών, έτσι ώστε το οριακό ποσοστό υποκατάστασης να ισούται με τον λόγο των τιμών των δύο προϊόντων.

Η απόφαση του παραγωγού του σύνθετου αγαθού γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά αποφασίζει μεταξύ εγχωρίων ($XXD_{j,r,t}$) και μη εγχωρίων αγαθών ($IMP_{j,r,t}$) και ύστερα μεταξύ των εισαγόμενων ($IMPO_{j,r,c,t}$), ανάλογα με τη χώρα προέλευσης. Τα στάδια απόφασης του παραγωγού του σύνθετου αγαθού περιγράφονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3-5: Δομή του σύνθετου αγαθού

Η συνάρτηση παραγωγής του σύνθετου αγαθού ($Y_{j,r,t}$) είναι σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{Y_{j,r,t}}{Y_{j,r,0}} = \left((1 - \theta_{IMP,j,r,t}) \cdot \left(\frac{XXD_{j,r,t}}{XXD_{j,r,0}} \right)^{\frac{\sigma_x - 1}{\sigma_x}} + \theta_{IMP,j,r,t} \cdot \left(\frac{IMP_{j,r,t}}{IMP_{j,r,0}} \right)^{\frac{\sigma_x - 1}{\sigma_x}} \right)^{\frac{\sigma_x}{\sigma_x - 1}}$$

Όπου

$$\frac{IMP_{j,r,t}}{IMP_{j,r,0}} = \left(\sum_c \theta_{IMPO,j,r,c,t} \cdot \left(\frac{IMPO_{j,r,c,t}}{IMPO_{j,r,c,0}} \right)^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}}$$

Όπου $\theta_{IMP,j,r,t}$, $\theta_{IMPO,j,r,c,t}$ τα μερίδια σε αξία του μη εγχωρίως παραγόμενου αγαθού και των εισαγόμενων ανά περιοχή αντιστοίχως και σ_x , σ_i οι ελαστικότητες υποκατάστασης της Armington στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο αντίστοιχα.

Ο παραγωγός του σύνθετου αγαθού υποθέτουμε ότι λειτουργεί υπό το καθεστώς τέλει ανταγωνισμού ως μεσολαβητής. Έτσι, η συνολική δαπάνη είναι ίση με τα συνολικά έσοδα, συνεπώς:

$$pY_{j,r,t} \cdot Y_{j,r,t} = pXD_{j,r,t} \cdot XXD_{j,r,t} + pIMP_{j,r,t} \cdot IMP_{j,r,t}$$

Και

$$pIMP_{j,r,t} \cdot IMP_{j,r,t} = \sum_c pIMPO_{j,r,c,t} \cdot IMPO_{j,r,c,t}$$

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος οδηγεί στις παρακάτω συναρτήσεις ζήτησης για εγχωρίως παραγόμενα και εισαγόμενα αγαθά αντίστοιχα:

$$XXD_{j,r,t} = (1 - \theta_{IMP,j,r,t}) \cdot \left(\frac{pY_{j,r,0}}{pXD_{j,r,0}} \right) \cdot Y_{j,r,t} \cdot \left(\frac{pY_{j,r,t}}{pXD_{j,r,t}} \right)^{\sigma_x}$$

$$IMP_{j,r,t} = \theta_{IMP,j,r,t} \cdot \left(\frac{pY_{j,r,0}}{pIMP_{j,r,0}} \right) \cdot Y_{j,r,t} \cdot \left(\frac{pY_{j,r,t}}{pIMP_{j,r,t}} \right)^{\sigma_x}$$

$$IMPO_{j,r,c,t} = \theta_{IMPO,j,r,c,t} \cdot \left(\frac{pIMP_{j,r,0}}{pIMPO_{j,r,c,0}} \right) \cdot IMP_{j,r,t} \cdot \left(\frac{pIMP_{j,r,t}}{pIMPO_{j,r,c,t}} \right)^{\sigma_i}$$

Αντικαθιστώντας στις συνθήκες μηδενικού κέρδους τις παραπάνω συναρτήσεις ζήτησης έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις μοναδιαίου κόστους:

$$pIMP_{j,r,t} = pIMP_{j,r,0} \cdot \left(\sum_c \theta_{IMPO,j,r,c,t} \cdot \left(\frac{pIMPO_{j,r,c,t}}{pIMPO_{j,r,c,0}} \right)^{1-\sigma_i} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_i}}$$

Και

$$pY_{j,r,t} = pY_{j,r,0} \cdot \left((1 - \theta_{IMP,j,r,t}) \cdot \left(\frac{pXD_{j,r,t}}{pXD_{j,r,0}} \right)^{1-\sigma_x} + \theta_{IMP,j,r,t} \cdot \left(\frac{pIMP_{j,r,t}}{pIMP_{j,r,0}} \right)^{1-\sigma_x} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_x}}$$

Όπου, $pY_{j,r,0}$ Το μοναδιαίο κόστος του σύνθετου αγαθού, $pXD_{j,r,t}$ η τιμή πώλησης του εγχωρίως παραγόμενου αγαθού, $pIMP_{j,r,t}$ η μέση τιμή των εισαγόμενων αγαθών συμπεριλαμβανομένου του κόστους μεταφοράς και των δασμών, και $pIMPO_{j,r,c,t}$ η τιμή εισαγωγών από την χώρα c στην χώρα r , συμπεριλαμβανομένου του κόστους μεταφοράς και των δασμών.

3.7. Τιμές

Στο μοντέλο υπάρχουν τιμές ισορροπίας στις οποίες ανάλογα με την αγορά προσθαφαιρούνται οι αντίστοιχοι φόροι. Οι τιμές οι οποίες προκύπτουν από την ισορροπία προσφοράς – ζήτησης στο μοντέλο ή αλλιώς οι βασικές τιμές είναι:

- η τιμή του σύνθετου αγαθού ($pY_{i,r,t}$), το οποίο είναι το αγαθό που αγοράζουν οι τελικοί και ενδιάμεσοι καταναλωτές για να φτιάξουν το τελικό τους προϊόν
- οι τιμές των πρωταρχικών συντελεστών παραγωγής, οι οποίες είναι οι τιμές στις οποίες αγοράζονται οι πρωταρχικοί συντελεστές παραγωγής προ φόρων

Το σύνθετο αγαθό ($Y_{i,r,t}$) ζητείται από τις επιχειρήσεις (j) ως ενδιάμεση κατανάλωση ($IOV_{i,j,r,t}$) και επενδυτικά αγαθά ($INVPV_{i,j,r,t}$), από την κυβέρνηση για δημόσια κατανάλωση και δημόσιες επενδύσεις ($GCV_{i,r,t}$) και από τα νοικοκυριά για κατανάλωση διαρκών και μη αγαθών ($HCFV_{i,j,r,t}$). Το προϊόν που ζητείται είναι το ίδιο $Y_{i,r,t} = \sum_j IOV_{i,j,r,t} + \sum_j INVPV_{i,j,r,t} + GCV_{i,r,t} + \sum_{fn} HCFV_{i,j,r,t}$, η τελική τιμή, όμως, που προκύπτει είναι διαφορετική ανάλογα με την χρήση. Έτσι, ανάλογα με τον προσδιορισμό του σύνθετου αγαθού προστίθενται στην τιμή του επιδοτήσεις, έμμεσοι φόροι ($txit_{i,r,t}$), ΦΠΑ ($txvat_{i,r,t}$), φόρος για κατανάλωση ενέργειας ($tx_effi_h_{i,r,t}$) κτλ. Οι τιμές των αγαθών ενδιάμεσης κατανάλωσης πριν και μετά την εφαρμογή περιβαλλοντικών φόρων ($txenv_{i,j,r,t}$), της δημόσιας και ιδιωτικής κατανάλωσης και των επενδυτικών προϊόντων δίνονται ακολούθως:

$$pIO_{i,r,t} = pY_{i,r,t} + txit_{i,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}}$$

$$pEUP_{i,j,r,t} = pIO_{i,r,t} + txenv_{i,j,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}}$$

$$pGC_{i,r,t} = \left(pY_{i,r,t} + txit_{i,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}} \right) \cdot (1 + txvat_{i,r,t})$$

$$pHC_{i,r,t} = \left(pY_{i,r,t} + txit_{i,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}} \right) \cdot (1 + txvat_{i,r,t}) + tx_effi_h_{i,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}}$$

$$pINVP_{i,r,t} = \left(pY_{i,r,t} + txit_{i,r,t} \cdot \frac{pCI_{r,t}}{pCI_{i,r,0}} \right)$$

Όπου $pCI_{r,t}$ είναι ο γενικός δείκτης τιμών στην χώρα.

Το μοναδιαίο κόστος των επενδύσεων ($pINV_{j,r,t}$) της επιχείρησης (j) εξαρτάται από το μείγμα των επενδυτικών προϊόντων (i) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού της.

$$pINV_{j,r,t} = pINV_{j,r,0} \cdot \left(\sum_i \theta_{INV,i,j,r,t} \cdot \frac{pINVP_{i,r,t}}{pINVP_{i,r,0}} \right)$$

Όπου $\theta_{INV,i,j,r,t}$ το μερίδιο των επενδυτικών προϊόντων σε αξία.

Αντίστοιχα, η κατανάλωση ανά σκοπό (fn) μετασχηματίζεται σε ζήτηση για καταναλωτικά προϊόντα βάση του πίνακα κατανάλωσης με σταθερούς τους τεχνικούς συντελεστές $thcfv_{i,fn,r,t}$ και την τεχνολογική πρόοδο ($tgQTCH_{i,fn,r,t}$)

$$pHCFV_{fn,r,t} = \sum_i thcfv_{i,fn,r,t} \cdot \frac{pHC_{i,r,t}}{e^{tgQTCH_{i,fn,r,t}}}$$

3.8. Ισορροπία των Αγορών

Στο GEME3-RD η ισορροπία του πραγματικού μέρους της οικονομίας επιτυγχάνεται ταυτόχρονα σε όλες τις αγορές αγαθών και συντελεστών παραγωγής. Στο μοντέλο GEME3-RD οι πόροι δεν εξαντλούνται σε όλες τις αγορές όπως στην βασική έκδοση του μοντέλου.

Η συνολική παραγωγή των κλάδων εξαντλείται από την ζήτηση για εγχώρια κατανάλωση και την ζήτηση για εξαγωγές. Η συνολική προσφορά του σύνθετου αγαθού (δηλαδή του μείγματος εγχωρίως παραγόμενου και εισαγόμενου προϊόντος) εξαντλείται στην κατανάλωση ενδιάμεσων προϊόντων, σε επενδυτικά αγαθά, δημόσια και ιδιωτική κατανάλωση. Η ισορροπία του εγχώριου προϊόντος και του σύνθετου αγαθού περιγράφεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$XD_{j,r,t} \geq XXD_{j,r,t} + \sum_c IMPO_{j,c,r,t} \quad \perp \quad pD_{j,r,t} \geq 0,$$

$$Y_{i,r,t} \geq \sum_j IOV_{i,j,r,t} + \sum_j INVPV_{i,j,r,t} + GCV_{i,r,t} + \sum_{fn} HCFVVPV_{i,fn,r,t} \quad \perp \quad pY_{j,r,t} \geq 0$$

Η συνολική προσφορά εργασίας ($LF_{r,t}$) προσδιορίζεται εξωγενώς. Αλλά το ποσοστό ανεργίας ($unrt_{r,t}$) είναι ενδογενής μεταβλητή και βασίζεται στην καμπύλη προσφοράς εργασίας η οποία συνδέει τον πραγματικό μέσο μισθό με το ποσοστό ανεργίας με αρνητική σχέση. Η ανεργία που αναπαρίσταται στο μοντέλο είναι μη ηθελημένη ανεργία και βασίζεται στην προσέγγιση των (Shapiro and Stiglitz 1984), σύμφωνα με την οποία η παραγωγικότητα εργασίας είναι αύξουσα συνάρτηση του μισθού. Η ανεργία δεν είναι αποτέλεσμα μη προσαρμογής, αφού υποθέτουμε πλήρη κινητικότητα εργασίας μέσα στην χώρα/περιοχή του μοντέλου. Έτσι, η ισορροπία στην αγορά εργασίας προκύπτει από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$LF_{r,t} \cdot (1 - unrt_{r,t}) = \sum_j \frac{LAV_{j,r,t}}{tl_{j,r,t}} \perp wage_{r,t}$$

$$wrmean_{r,t} = wage_{r,t} \cdot (1 - unrt_{r,t}) + unben_{r,t} \cdot unrt_{r,t} \perp wrmean_{r,t}$$

$$wrmean_{r,t} = f(unben_{r,t}, unrt_{r,t}) \perp unrt_{r,t}$$

Όπου, $tl_{j,r,t}$ είναι οι ώρες πλήρους απασχόλησης για ένα χρόνο ανά εργαζόμενο, $unben_{r,t}$ είναι το επίδομα ανεργίας, $wage_{r,t}$ είναι ο μισθός του εργαζομένου, $wrmean_{r,t}$ είναι ο μέσος μισθός²⁴ και $f(unben_{r,t}, unrt_{r,t})$ είναι η καμπύλη προσφοράς εργασίας.

Το απόθεμα κεφαλαίου στην αρχή της περιόδου t ($KAVC_{t-1}$) θεωρείται δεδομένο και ίσο με το απόθεμα κεφαλαίου της προηγούμενης περιόδου (KAV_{t-1}) (αφαιρώντας την απαξίωση κεφαλαίου) συν το δημιουργηθέν κεφάλαιο ($INVV_{t-1}$, νέες επενδύσεις), όπως προκύπτει από την δυναμική εξίσωση συσσώρευσης του κεφαλαίου:

$$KAVC_{t-1} = (1 - \delta)^T \cdot KAV_{t-1} + \frac{1 - (1 - \delta)^T}{\delta} \cdot INV_{t-1}$$

Στο GEME3-RD υπάρχουν οι εξής επιλογές όσο αναφορά την κινητικότητα κεφαλαίου:

1) Μη κινητικότητα:

$$KAVC_{j,r,t-1} \geq KAV_{j,r,t} \perp pK_{j,r,t} \geq 0$$

2) Πλήρης κινητικότητα μεταξύ κλάδων εντός της χώρας/περιοχής:

$$\sum_j KAVC_{j,r,t-1} \geq \sum_j KAV_{j,r,t} \perp pK_{r,t} \geq 0$$

3) Πλήρης κινητικότητα μεταξύ κλάδων και χωρών:

²⁴ Ο μέσος μισθός ορίζεται από τα εισοδήματα που λαμβάνει το νοικοκυριό από την εργασία και τα επιδόματα ανεργίας.

$$\sum_{j,r} KAVC_{j,r,t-1} \geq \sum_{j,r} KAV_{j,r,t} \perp pK_t \geq 0$$

4) Μερική κινητικότητα (για μερικούς κλάδους/χώρες):

$$\sum_{j,r \in A(j,r)} KAVC_{j,r,t-1} \geq \sum_{j,r \in A(j,r)} KAV_{j,r,t} \perp pK_{A(j,r),t} \geq 0$$

$$\sum_{j,r \in B(j,r)} KAVC_{j,r,t-1} \geq \sum_{j,r \in B(j,r)} KAV_{j,r,t} \perp pK_{B(j,r),t} \geq 0$$

Όσον αναφορά την ισορροπία στις αγορές των αποθεμάτων (αργού πετρελαίου) και γης, υπάρχουν δύο επιλογές στο μοντέλο για τις τιμές των αποθεμάτων: α) εξωγενής προσδιορισμός και β) ενδογενής προσδιορισμός (δηλαδή να προσδιορίζονται από την ισορροπία Προσφοράς και Ζήτησης).

3.9. Θεσμικές συναλλαγές, πλεόνασμα των οικονομικών παραγόντων και νόμος του Walras

Το σύνολο των θεσμικών συναλλαγών που περιγράφεται από τους εθνικούς λογαριασμούς περιλαμβάνεται στον πίνακα κοινωνικής λογιστικής του υποδείγματος. Οι συναλλαγές αυτές μαζί με τα έξοδα για κατανάλωση και την χρηματοδότηση των επενδύσεων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ελλείματος/πλεονάσματος κάθε οικονομικού παράγοντα.

Η τελική κατανάλωση ($FC_{se,r,t}$) των οικονομικών παραγόντων ($se: H,F,G,W$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$FC_{se,r,t} = \begin{cases} HCTOT_{r,t} & , se = H \\ \sum_i pGC_{i,r,t} \cdot GCV_{i,r,t} & , se = G \\ \sum_i pWE_{i,r,t} \cdot EXPTOT_{i,r,t} & , se = W \end{cases}$$

Η χρηματοδότηση των επενδύσεων ($INV_{se,r,t}$) για κάθε οικονομικό παράγοντα υποθέτουμε ότι μοιράζεται με σταθερά μερίδια ($tcinv_{se,r,t}$) εξωγενώς στο μοντέλο:

$$INV_{se,r,t} = tcinv_{se,r,t} \cdot \left(\sum_j pINV_{j,r,t} \cdot INV_{j,r,t} \right)$$

Έσοδα του κράτους από την φορολογία προϊόντων δίνονται από την συνάρτηση $FGRB_{gvb,r,t}$ όπου gvb : έμμεσοι φόροι (it), επιδοτήσεις (sub)²⁵, δασμοί (dut), άμεσοι φόροι (vat) και περιβαλλοντικοί φόροι (env).

Τα έσοδα από τις πληρωμές $FSEFA_{se,fa,r,t}$ των παραγωγικών συντελεστών (fa) μοιράζονται μέσω σταθερών συντελεστών ανάλογα με την ιδιοκτησία του κάθε οικονομικού παράγοντα (se):

$$FSEFA_{se,fa,r,t} = \begin{bmatrix} shK_{H,r,t} \cdot \left(\sum_j pK_{j,r,t} \cdot KAV_{j,r,t} \right) & , se = H, fa = K \\ \sum_j wage_{j,r,t} \cdot LAV_{j,r,t} & , se = H, fa = L \\ shK_{F,r,t} \cdot \left(\sum_j pK_{j,r,t} \cdot KAV_{j,r,t} \right) & , se = F, fa = K \\ shK_{G,r,t} \cdot \left(\sum_j pK_{j,r,t} \cdot KAV_{j,r,t} \right) & , se = G, fa = K \end{bmatrix}$$

Οι συναλλαγές μεταξύ των οικονομικών παραγόντων ορίζονται από την συνάρτηση $FSESE_{se,sr,r,t}$, η οποία δείχνει τα έσοδα και έξοδα κάθε οικονομικού παράγοντα και παρουσιάζεται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

	H	F	G	W
H			Κοινωνικά επιδόματα	
F				
G	Φορολογία νοικοκυριών, ασφαλιστικές εισφορές	Φορολογία επιχειρήσεων, ασφαλιστικές εισφορές		
W				

Πίνακας 3-5: Πίνακας εσόδων εξόδων κάθε οικονομικού παράγοντα.

Τα έσοδα του κράτους προκύπτουν από έμμεση και άμεση φορολογία και από δασμούς. Τα έξοδα του κράτους προέρχονται από τις επιδοτήσεις στις επιχειρήσεις και τις κοινωνικές παροχές σε νοικοκυριά, τις δημόσιες δαπάνες και επενδύσεις. Το εισόδημα των νοικοκυριών προέρχεται από την προσφορά εργασίας, τα μερίσματα από τις επιχειρήσεις και τα κοινωνικά επιδόματα. Τα έξοδα

²⁵ Οι επιδοτήσεις είναι δαπάνη για το κράτος οπότε έχουν αρνητική τιμή

του νοικοκυριού είναι η πληρωμή των φόρων, η καταναλωτική δαπάνη και οι επενδύσεις. Οι επιχειρήσεις έχουν ως έσοδα την αμοιβή του κεφαλαίου που δεν κατανέμεται στους μετόχους και ως έξοδα την φορολογία, τις ασφαλιστικές πληρωμές και την χρηματοδότηση των επενδύσεων που πραγματοποιείται με ίδια κεφάλαια. Το εισόδημα του υπόλοιπου κόσμου είναι οι εισαγωγές της χώρας και τα έξοδα είναι οι εξαγωγές της.

Ορίζουμε ως αποταμίευση τα έσοδα μείον την τελική κατανάλωση κάθε οικονομικού παράγοντα ($SAVE_{se,r,t}$). Τότε το πλεόνασμα ή έλλειμμα του κάθε οικονομικού παράγοντα ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$SURLUS_{se,r,t} = SAVE_{se,r,t} - INV_{se,r,t}$$

Το μοντέλο εξασφαλίζει ότι το έλλειμμα κάποιων οικονομικών παραγόντων χρηματοδοτείται από το πλεόνασμα των υπολοίπων κατά τρόπο ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των πλεονασμάτων κατά χώρα να είναι μηδέν ($\sum_{se} SURLUS_{se,r,t} = 0$).

3.10. Κανόνες κλεισίματος του υποδείγματος και μοναδιαία τιμή (Numairere)

Στο υπόδειγμα υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές για το μακροοικονομικό κλείσιμο οι οποίες αφορούν το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών:

- 1) Το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών να παραμένει ελεύθερο στο κόσμο:

$$Surplus_{w,r,t} = free$$

- 2) Το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών είναι σταθερό ανά περιοχή:

$$Surplus_{w,r,t} = exoSurplus_{w,r,t}$$

- 3) Χρηματοοικονομικό κλείσιμο (μέσω της προσθήκης του νομισματικού τομέα της οικονομίας IS/LM) το οποίο αποτελεί μία από τις επεκτάσεις του μοντέλου στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής και παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.

Σε όλες τις περιπτώσεις επιβάλλεται ότι οι επενδύσεις πρέπει να ισούνται με την αποταμίευση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ως μοναδιαία τιμή²⁶ (numeraire) ορίζεται ένας παγκόσμιος δείκτης τιμών ο οποίος προκύπτει από την ποσοτική θεωρία του χρήματος $P \cdot Q = M \cdot V$ διατηρώντας σταθερό το δεξιό μέλος ($NUMVAL$). Όπου, M είναι το χρήμα, V η

²⁶ Δηλαδή η τιμή η οποία ορίζεται ως μονάδα και όλες οι τιμές εκφράζονται σε σχέση με αυτή την τιμή.

ταχύτητα κυκλοφορίας του χρήματος, P είναι το επίπεδο τιμών και Q η συνολική δαπάνη. Θεωρώντας ότι έχουμε στην οικονομία τόσα χρήματα όσα το παγκόσμιο ΑΕΠ και η ταχύτητα κυκλοφορίας τους είναι 1 παίρνουμε την ακόλουθη σχέση:

$$\sum_{j,r} pK_{j,r,t} \cdot KAV_{j,r,t} + pL_{j,r,t} \cdot LAV_{j,r,t} + pLAND_{j,r,t} \cdot LANDV_{j,r,t} + pRESF_t \cdot \sum_r RESFV_{r,t} = NUMVAL$$

Εναλλακτικό numeraire θα μπορούσε να είναι η παγκόσμια τιμή αργού πετρελαίου ($pRESF_t$), η τιμή εργασίας μιας χώρας ή και οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός τιμών.

3.11. Εξαντλήσιμοι ενεργειακοί πόροι

Οι υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) κατέχουν σημαντική θέση στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, κυρίως το πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισης του. Το πετρέλαιο και τα λοιπά ορυκτά καύσιμα (άνθρακας και φυσικό αέριο) είναι εξαντλήσιμοι πόροι, και δεδομένης της αυξανόμενης ζήτησής του. Οι τιμές πετρελαίου έχουν αυξηθεί σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια²⁷, πιέζοντας προς τα επάνω τις τιμές των αγαθών που είναι εξαρτώμενες από το πετρέλαιο (γεωργία, μεταφορές, κα). Η χρήση των Α.Π.Ε. μπορεί να αποτελέσει μια λύση του προβλήματος (των αυξημένων τιμών πετρελαίου και τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες), αφού σταδιακά συμβάλουν στην απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Έτσι, η μοντελοποίηση των εξαντλήσιμων ενεργειακών πόρων και ιδιαίτερα του αργού πετρελαίου βελτιώνει τις ιδιότητες του μοντέλου, αφού οι αυξημένες τιμές τείνουν να οδηγήσουν σε διαθρωτικές αλλαγές στον κλάδο τις ενέργειας και κατά συνέπεια σε αύξηση ανταγωνιστικότητας των νέων χαμηλού άνθρακα καινοτόμων αγαθών, τα οποία σε διαφορετική περίπτωση δεν ήταν ανταγωνιστικά για να εισέλθουν στην αγορά.

Στο GEME3-RD τα αποθέματα κάθε καυσίμου αποτελούν ξεχωριστό συντελεστή παραγωγής. Στο Σχήμα 3-7 σελίδα 77 απεικονίζεται η ιεραρχική δομή της συνάρτησης CES μετά την εισαγωγή των εξαντλούμενων πόρων. Η ελαστικότητα υποκατάστασης που επιλέχθηκε είναι μικρότερη από την μονάδα και παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν. Η χαμηλή ελαστικότητα υποκατάστασης εξασφαλίζει μια ελάχιστη ποσότητα αποθεμάτων R που είναι απαραίτητη για να είναι εφικτή η παραγωγή.

²⁷ Η ανάλυση διεξήχθη πριν την πρόσφατη μείωση των τιμών μετά το 2014. Η εξαντλησιμότητα των ορυκτών ενεργειακών πόρων σε συνδυασμό με την αυξανόμενη χρήση τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων τείνει να οδηγήσει σε αύξηση της τιμής τους.

Υπάρχουν δύο επιλογές για την μοντελοποίηση των εξαντλήσιμων ενεργειακών πόρων στο GEME3-RD: Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει μια παγκόσμια τιμή του εξαντλήσιμου πόρου ($pRESF_t$), η οποία είναι εξωγενής μεταβλητή (δίνεται από ένα ενεργειακό μοντέλο και παίρνει τιμές $exoPRESF_t$), ενώ η προσφορά ($RESFS_{r,t}$) υπολογίζεται ενδογενώς για κάθε χώρα και είναι ίση με την ζήτηση ($RESFV_{r,t}$) κάθε χώρας. Έτσι, έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$pRESF_t = exoPRESF_t \perp pRESF_t$$

$$RESFS_{r,t} = RESFV_{r,t} \perp RESFS_{r,t}$$

Στην δεύτερη περίπτωση, υπάρχει μια παγκόσμια προσφορά του εξαντλήσιμου πόρου ($exoRESFS_t$), η οποία είναι εξωγενής μεταβλητή (η οποία επίσης δίνεται από ένα ενεργειακό μοντέλο), και υπάρχει μια παγκόσμια τιμή ($pRESF_t$) του εξαντλήσιμου ενεργειακού πόρου η οποία υπολογίζεται ενδογενώς ως αποτέλεσμα ισορροπίας της συνολικής προσφοράς και ζήτησης ($\sum_r RESFV_{r,t}$) του εξαντλήσιμου ενεργειακού πόρου. Η προσφορά ($RESF_{r,t}$) της κάθε χώρας είναι ενδογενής και ισούται με την ζήτηση ($RESF_{r,t}$). Έτσι, έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$exoRESFS_t = \sum_r RESF_{r,t} \perp pRESF_t$$

$$RESFS_{r,t} = RESFV_{r,t} \perp RESFS_{r,t}$$

3.12. Αέρια του θερμοκηπίου και περιβαλλοντικοί ρύποι

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, όπως αυτές παράγονται από την παραγωγική διαδικασία και από τα νοικοκυριά, υπολογίζονται στο μοντέλο με βάση τεχνικούς συντελεστές που σχετίζονται με τη χρήση της ενέργειας. (μια αναλυτικότερη παρουσίαση των αερίων του θερμοκηπίου μπορείτε να δείτε (P Capros, van Regemorter, et al. 2013), (Παρούσος 2009))

3.13. Προσαρμογή του μοντέλου σε χρονιά βάσης και χρήση

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας που ενισχύει την αξιοπιστία τους ως αναλυτικό εργαλείο (πέραν της θεωρητικής τους θεμελίωσης) , είναι η δυνατότητα αναπαράστασης πραγματικών δεδομένων σε μια χρονιά βάσης²⁸. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσαρμογή των

²⁸ Συνήθως επιλέγεται ως χρονιά βάση, το έτος για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για μια σειρά βασικών μεταβλητών του μοντέλου (πίνακες κοινωνικής λογιστικής, βλέπε παράγραφο 3.2 σελ 38).

παραμέτρων του μοντέλου, έτσι ώστε η λύση του, να αναπαράγει τα πραγματικά δεδομένα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ακόλουθη:

- Συλλογή και επεξεργασία διαθέσιμων δεδομένων και προσαρμογή στις διαστάσεις του μοντέλου. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αθροιστούν, αλλά και να διαχωριστούν σε περισσότερες κατηγορίες, είτε χρησιμοποιώντας δευτερεύουσες βάσεις δεδομένων, είτε κάνοντας εύλογες υποθέσεις.
- Προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου στην χρονιά βάσης με βάση τα πραγματικά δεδομένα. Για την προσαρμογή αυτή θεωρούνται ως γνωστές οι μεταβλητές του μοντέλου, ενώ οι παράμετροι υπολογίζονται έτσι ώστε οι μεταβλητές να αναπαριστούν τα πραγματικά δεδομένα.
- Ακολουθείται ξεχωριστός κώδικας εντολών που υπολογίζει τις παραμέτρους με αναδρομικό τρόπο.

Καθώς η χρήση του μοντέλου αφορά την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων πολιτικής με επίκεντρο την κλιματική αλλαγή που λαμβάνουν χώρα σε μελλοντικές περιόδους, απαιτείται η δυναμική προέκταση των παραμέτρων του μοντέλου. Η προέκταση αυτή ορίζει το σενάριο αναφοράς και αποτελεί μια πιθανή προβολή και όχι πρόβλεψη για το μέλλον.

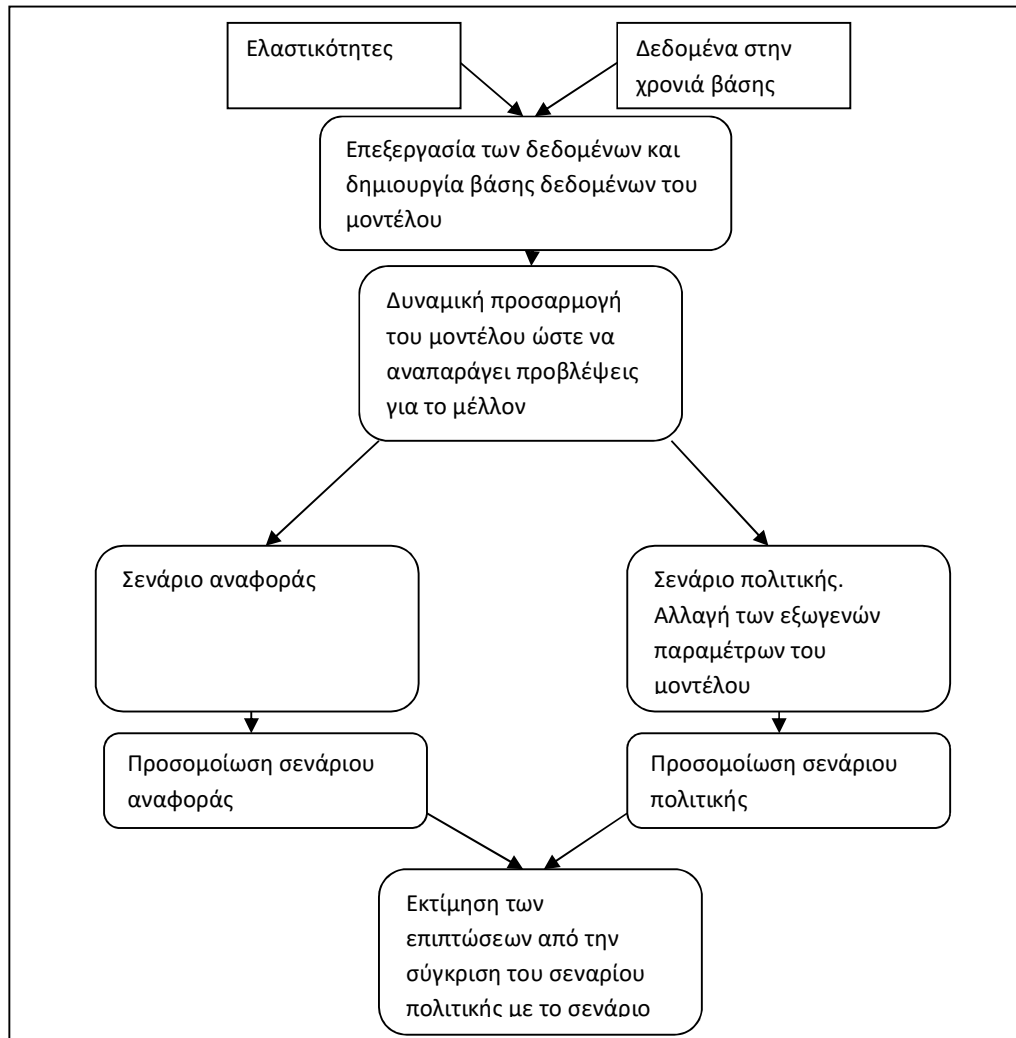
Το σενάριο αναφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντικό²⁹, καθώς αποτελεί το σημείο αναφοράς για κάθε άλλο πιθανό σενάριο. Για την δυναμική προσαρμογή του μοντέλου έχει αναπτυχθεί μια διαδικασία η οποία υπολογίζει δυναμικά τις παραμέτρους του μοντέλου, έτσι ώστε να αναπαράγουν το επιθυμητό σενάριο αναφοράς. Η διαδικασία αυτή αποτελεί εξέλιξη του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής του (Καρκατσούλης 2007). Η διαδικασία που ακολουθείται για την δυναμική προσομοίωση περιλαμβάνει:

- I. Χρήση ενός ιεραρχικού μοντέλου προσομοίωσης, όπου ο χρήστης εισάγει τους επιθυμητούς στόχους και το μοντέλο παράγει ένα σύνολο μεταβλητών ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.
- II. Τρέξιμο του μοντέλου (υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας) για να λάβουμε μία πλήρη λύση για την επόμενη περίοδο.

²⁹ Για παράδειγμα, το κόστος που θα υπολογιστεί σε ένα σενάριο επίτευξης συγκεκριμένου στόχου αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής (μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα) θα είναι σχετικά χαμηλότερο σε ένα σενάριο αναφοράς στο οποίο πραγματοποιούνται επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εφαρμόζονται πολιτικές ενεργειακής εξοικονόμησης, σε σχέση με ένα σενάριο αναφοράς στο οποίο δεν λαμβάνεται καμία από τις άνω πολιτικές.

- III. Λύση ενός προβλήματος ελαχιστοποίησης της συνολικής διαταραχής των παραμέτρων του μοντέλου χρησιμοποιώντας τις τιμές που παράγονται από το στάδιο II που είναι σύμφωνο με τους περιορισμούς στις μεταβλητές που παράγονται στο στάδιο I. Η ελαχιστοποίηση γίνεται στο άθροισμα των λογαριθμικών διαφορών ανάμεσα στις μεταβλητές του μοντέλου και των στόχων που έχουν τεθεί. Αυτό το στάδιο θα οδηγήσει σε ένα επαναπροσδιορισμένο μοντέλο για τη συγκεκριμένη περίοδο. Αν η αντικειμενική συνάρτηση δεν βελτιώνεται γίνεται γραμμικοποίηση στο νέο σημείο και επαναλαμβάνεται το στάδιο III για την ίδια περίοδο. Όταν το σφάλμα είναι κοντά στο μηδέν ή δεν βελτιώνεται προχωράει στην επόμενη περίοδο.
- IV. Χρήση του μοντέλου στο οποίο έχουν εκτιμηθεί ξανά οι παράμετροι του σταδίου III, λύση για την επόμενη περίοδο και επανάληψη του σταδίου III.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που απαιτούνται για την χρήση του μοντέλου.



Σχήμα 3-6: Η χρήση του μοντέλου GEM3-RD

3.14. Παράρτημα Κεφαλαίου 3

3.14.1. Μακροχρόνιο οριακό κόστος κεφαλαίου

Για την απόδειξη της σχέσης της μακροχρόνιας τιμής κεφαλαίου ($pk_{j,t} = pinv_{j,t} \cdot (rltlr_t + decl_j)$) ακολουθήθηκε η μέθοδος του παράλληλου χαρτοφυλακίου και η υπόθεση μη επιτηδειότητας (no arbitrage).

Ο επενδυτής έχει δύο επιλογές, είτε να επενδύσει στην επιχείρηση j, είτε να βάλει τα χρήματα του στην τράπεζα. Από την τράπεζα περιμένει απόδοση όσο είναι το τρέχων επιτόκιο $rltlr_t$ και από την επιχείρηση περιμένει αναμενόμενη αμοιβή κεφαλαίου ανά περίοδο $pk_{j,t}$. Το ερώτημα είναι ποιά είναι η δίκαια τιμή $pk_{j,t}$ έτσι ώστε να επενδύσει στην επιχείρηση j.

Έστω ότι ο επενδυτής διαθέτει A (\$). Το πρώτο χαρτοφυλάκιο είναι της επένδυσης στην επιχείρηση j (V_j) και η παρούσα αξία του την χρονική στιγμή t είναι:

$$V_{j,t} = \sum_{s=t+1}^{\infty} \left(\frac{1}{1 + rltlr_s} \right)^{s-t} \cdot pk_{j,s} \cdot [INVV_{j,t} \cdot (1 - decl_j)^{s-t}]$$

Όπου $INVV_{j,t}$ (Υ) είναι ο όγκος της επένδυσης και $pinv_{j,t}$ ($\frac{\$}{\text{Υ}}$) το μοναδιαίο κόστος της επένδυσης, οπότε $pinv_{j,t} \cdot INVV_{j,t} = A$. Το παράλληλο χαρτοφυλάκιο είναι να τοποθετηθούν τα χρήματα στην τράπεζα (V_0) και η αξία του την χρονική στιγμή t να είναι A.

$$V_{0,t} = A$$

Ο επενδυτής για να είναι αδιάφορος θα πρέπει και τα δύο χαρτοφυλάκια να έχουν την ίδια αξία την χρονική στιγμή t ($V_{j,t} = V_{0,t}$). Οπότε:

$$pinv_{j,t} \cdot INVV_{j,t} = \sum_{s=t+1}^{\infty} \left(\frac{1}{1 + rltlr_s} \right)^{s-t} \cdot pk_{j,s} \cdot [INVV_{j,t} \cdot (1 - decl_j)^{s-t-1}]$$

Ισοδύναμα,

$$pinv_{j,t} = \frac{1}{1 - decl_j} \cdot \sum_{s=t+1}^{\infty} \left(\frac{1 - decl_j}{1 + rltlr_s} \right)^{s-t} \cdot pk_{j,s}$$

Θεωρώντας σταθερή αμοιβή του κεφαλαίου $pk_{j,s} = pk_{j,*}$

$$pINV_{j,t} = pk_{j,*} \cdot \frac{1}{1 - decl_j} \cdot \sum_{s=t+1}^{\infty} \left(\frac{1 - decl_j}{1 + rltlr_s} \right)^{s-t}$$

$$pINV_{j,t} = pk_{j,*} \cdot \frac{1}{1 - decl_j} \cdot \left(\frac{1 - decl_j}{1 + rltlr_s} \right) \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{1 - decl_j}{1 + rltlr_s} \right)}$$

Οπότε,

$$pk_{j,*} = pinv_{j,t} \cdot (rltlr_t + decl_j)$$

3.14.2. Διαστάσεις του μοντέλου

Πίνακας 3-6: Περιφερειακή κατανομή των χωρών στο μοντέλο GEMEZ-RD

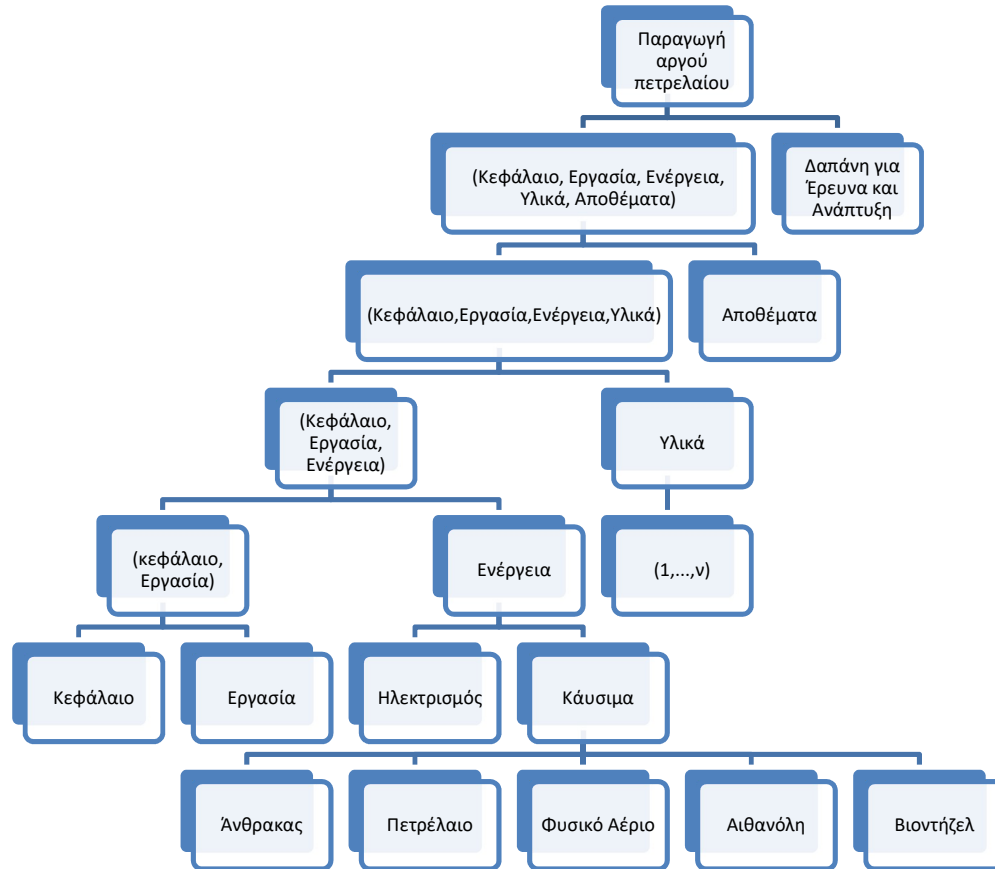
Συντομογραφίες	Περιοχή
EU28	Η Ευρωπαϊκή ένωση των 28, η οποία περιλαμβάνει όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης
NAM	Βόρεια Αμερική, που περιλαμβάνει τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και τον Καναδά.
JAK	Δυτικός Ειρηνικός, που περιλαμβάνει την Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία.
CHN	Κίνα, που περιλαμβάνει το Χόνγκ-Κόνγκ.
EEC	Εξαγωγείς Ενέργειας, που περιλαμβάνει Μέση Ανατολή, Βόρεια Αφρική και Πρώην Σοβιετική Ένωση
ROW	Υπόλοιπο κόσμου, που περιλαμβάνει τις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες (συμπεριλαμβανομένων Ινδίας και Βραζιλίας)

Πίνακας 3-7: Τομείς δραστηριότητας στο μοντέλο GEMEZ-RD

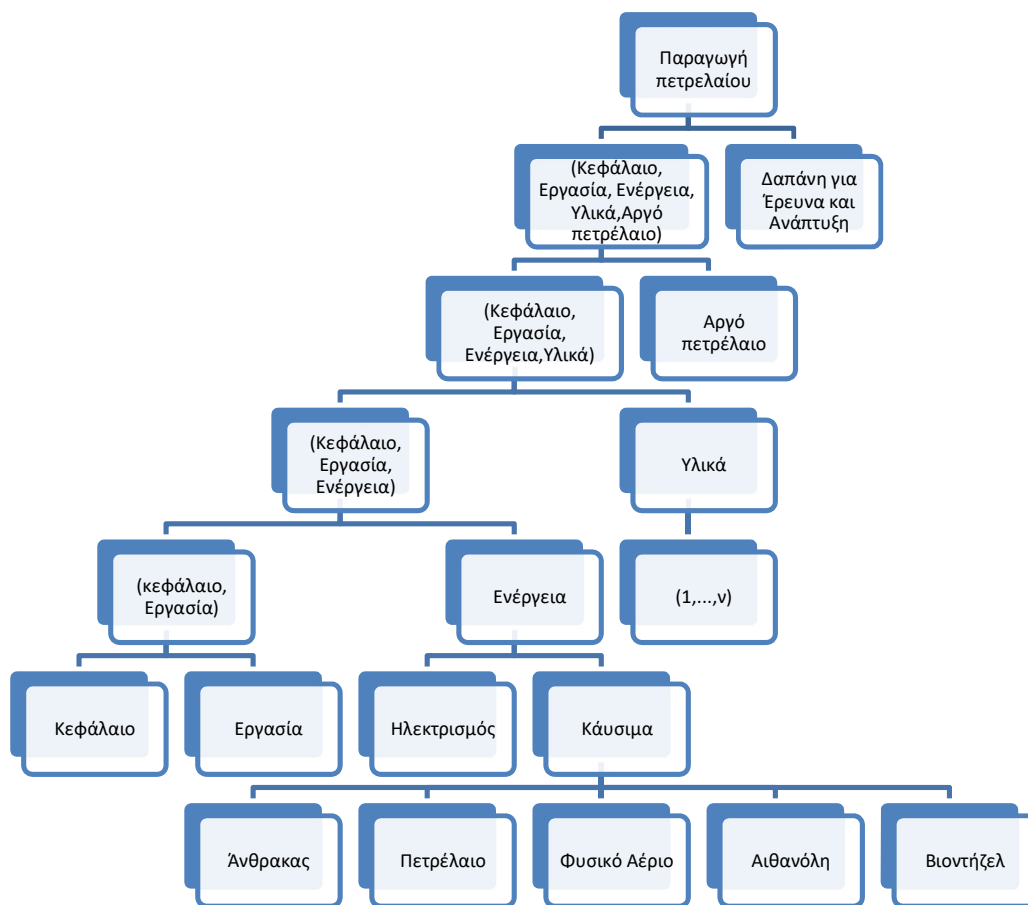
Αρ.	Τομέας	Αρ.	Τομέας	Αρ.	Τομέας
01	Λοιπή γεωργία και κτηνοτροφία	14	Λοιπά αγαθά εξοπλισμού	27	Υδροηλεκτρική παραγωγή
02	Σιτάρι, δημητριακά, ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα	15	Βιομηχανίες καταναλωτικών αγαθών	28	Παραγωγή αιολικής ενέργειας
03	Ελαιούχοι σπόροι	16	Κατασκευές	29	Παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά
04	Άνθρακας, λιγνίτης	17	Μεταφορές	30	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO2 σε σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα

05	Αργό πετρέλαιο Παραγωγή	18	Υπηρεσίες Αγορών	31	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO2 σε σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με Φυσικό Αέριο
06	Πετρέλαιο – Διυλιστήρια	19	Μη εμπορεύσιμες υπηρεσίες	32	Υπηρεσίες E&A
07	Φυσικό Αέριο	20	Παραγωγή Αιθανόλης	33	Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας
08	Ηλεκτρισμός	21	Παραγωγή βιοντίζελ	34	Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων
09	Σιδηρούχα & Μη-σιδηρούχα μέταλλα	22	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα	35	Κατασκευή εξοπλισμού CCS
10	Χημικά Προϊόντα	23	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση πετρελαίου	36	Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων
11	Λοιπές ενεργοβόρες βιομηχανίες	24	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση αερίου	37	Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας
12	Ηλεκτρικές συσκευές	25	Ηλεκτροπαραγωγή με πυρηνική ενέργεια	38	Κατοικίες
13	Εξοπλισμός Μεταφορών	26	Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα		

3.14.3. Ιεραρχική δομή για κάθε κατηγορία συνάρτησης παραγωγής



Σχήμα 3-7: Συνάρτηση παραγωγής για το κλάδο του αργού πετρελαίου



Σχήμα 3-8: Συνάρτηση παραγωγής για τον κλάδο των πετρελαιοειδών

3.14.4. Κατηγορίες καταναλωτικών αγαθών του νοικοκυριού

Πίνακας 3-8: Λίστα με τα αγαθά του δευτέρου σταδίου απόφασης του νοικοκυριού

FN2	Αγαθά στο δεύτερο στάδιο απόφασης του νοικοκυριού
01	Φαγητό
02	Ένδυση
03	Σπίτια
05	Έπιπλα
07	Ιατροφαρμακευτική περίθαλψη
11	Τηλεπικοινωνίες
12	Αναψυχή
13	Άλλες υπηρεσίες
14	Εκπαίδευση
Mobil	Μετακίνηση
EnHs	Θέρμανση/Μαγείρεμα
EIAp	Ηλεκτρικές συσκευές

Κεφάλαιο 4

4. Ανάπτυξη του μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο GEME3-RD

Ο σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η αναλυτική περιγραφή του μηχανισμού ενδογενούς ανάπτυξης στο μοντέλο GEME3-RD που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής.

4.1. Εισαγωγή

Η μοντελοποίηση της τεχνολογικής μεταβολής στο μοντέλο GEME3-RD βασίζεται στην θεωρία της ενδογενούς ανάπτυξης που αναπτύχθηκε κυρίως από τους (Romer 1990), (Aghion and Howitt 1997), (Lucas 1988) και (Acemoglu 1998, 2002). Η τεχνολογική πρόοδος (μεταβολή) στο μοντέλο εκφράζεται με δύο τρόπους, είτε ως βελτίωση της παραγωγικότητας κάθε συντελεστή παραγωγής, είτε ως βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών παραγωγής των αγαθών. Η τεχνολογική πρόοδος, απορρέει ενδογενώς από τις δαπάνες στον τομέα της E&A (Έρευνας και Ανάπτυξης) οι οποίες με τη σειρά τους είναι αποτέλεσμα της βέλτιστης κατανομής πόρων των επιχειρήσεων και του κράτους.

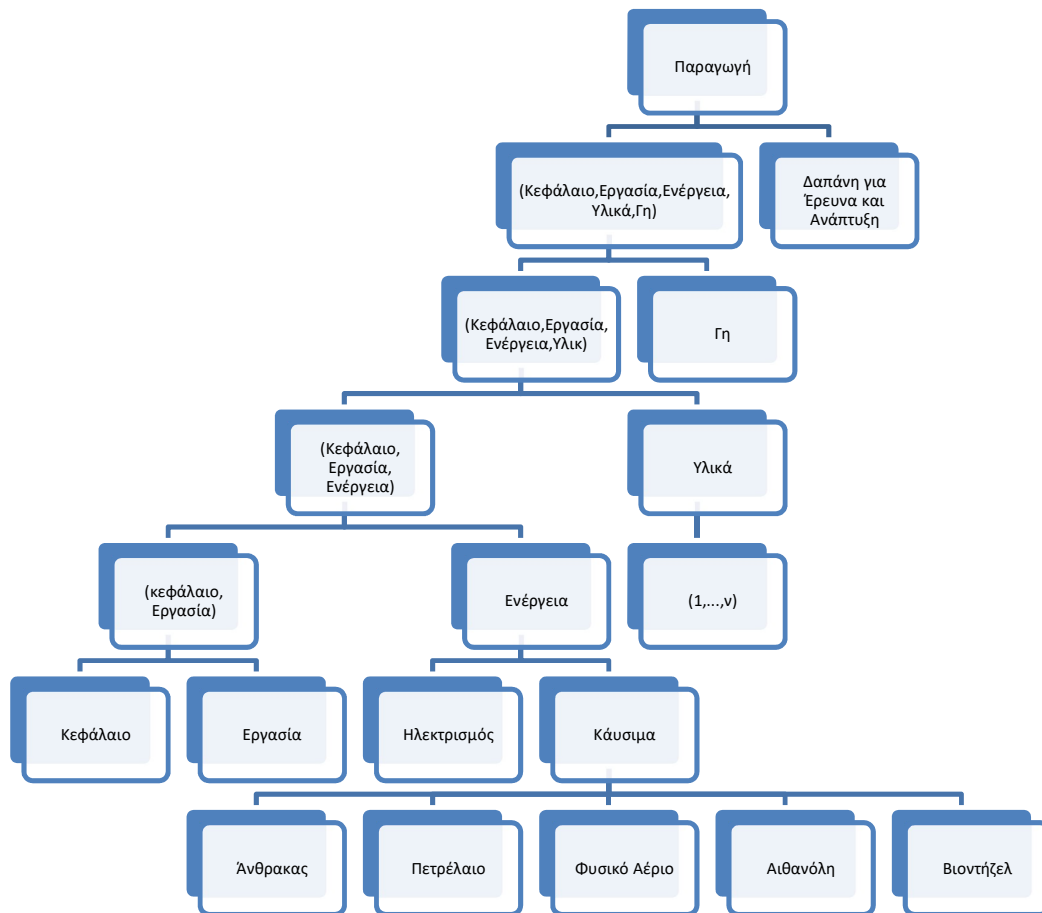
Οι κλάδοι δραστηριότητας του μοντέλου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία είναι ο τομέας προσφοράς υπηρεσιών E&A, ο οποίος παρέχει υπηρεσίες γνώσης σε ολόκληρη την οικονομία. Στην δεύτερη κατηγορία είναι όλοι εκείνοι οι κλάδοι δραστηριότητας, οι οποίοι παρέχουν προϊόν προηγμένης τεχνολογίας (βλέπε Πίνακας 4-1). Στην τρίτη κατηγορία είναι όλοι οι υπόλοιποι κλάδοι δραστηριότητας, οι οποίοι είτε αγοράζουν από τον τομέα E&A με σκοπό να καινοτομήσουν, είτε αγοράζουν έτοιμα καινοτόμα προϊόντα από τους κλάδους προηγμένης τεχνολογίας.

Πίνακας 4-1: Τομείς προηγμένης τεχνολογίας στο μοντέλο GEME3-RD

Αρ.	Τομέας
20	Παραγωγή Αιθανόλης
21	Παραγωγή βιοντίζελ
33	Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας
34	Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων
35	Κατασκευή εξοπλισμού CCS
36	Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων
37	Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας

4.2. Κλάδος υπηρεσίας Έρευνας και Ανάπτυξης (Προσφορά)

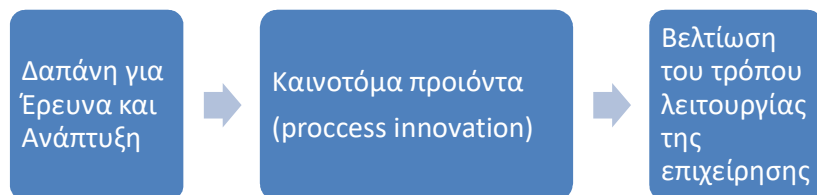
Στην πραγματικότητα κάθε κλάδος επενδύει σε E&A με σκοπό να καινοτομήσει. Αυτό επιτυγχάνεται είτε έχοντας στο εργατικό του δυναμικό άτομα που ασχολούνται με την Έρευνα, είτε χρηματοδοτώντας ερευνητικά κέντρα είτε αγοράζοντας δικαιώματα διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας (πατέντες). Στο μοντέλο ο τομέας της προσφοράς υπηρεσιών E&A αναπαρίσταται ως ξεχωριστός κλάδος. Η συνάρτηση παραγωγής του είναι τύπου CES και ακολουθεί την γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής του μοντέλου και δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4-1: Συνάρτησης παραγωγής του κλάδου δραστηριότητας Έρευνας και Ανάπτυξης στο GEME3-RD

Ο κύριος συντελεστής παραγωγής του κλάδου E&A είναι η εργασία (άτομα που εργάζονται σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα). Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους κλάδους δραστηριότητας ο κλάδος E&A δεν συμμετέχει στο διεθνές εμπόριο, αλλά δραστηριοποιείται μόνο εντός της χώρας. Όλοι οι κλάδοι δραστηριότητας δαπανούν σε E&A με σκοπό να καινοτομήσουν. Ο

αντιπροσωπευτικός παραγωγός κάθε κλάδου βελτιστοποιεί την κατανομή των πόρων για την Έρευνα και Ανάπτυξη ταυτόχρονα με την απόφαση για βελτιστοποίηση της κατανομής μεταξύ των συντελεστών παραγωγής του (κεφαλαίο, εργασία, ενέργεια και ενδιάμεσες καταναλώσεις). Η χρήση των υπηρεσιών E&A αυξάνει την παραγωγικότητα για τους συντελεστές παραγωγής της επιχείρησης ανάλογα με τον προσανατολισμό της E&A.

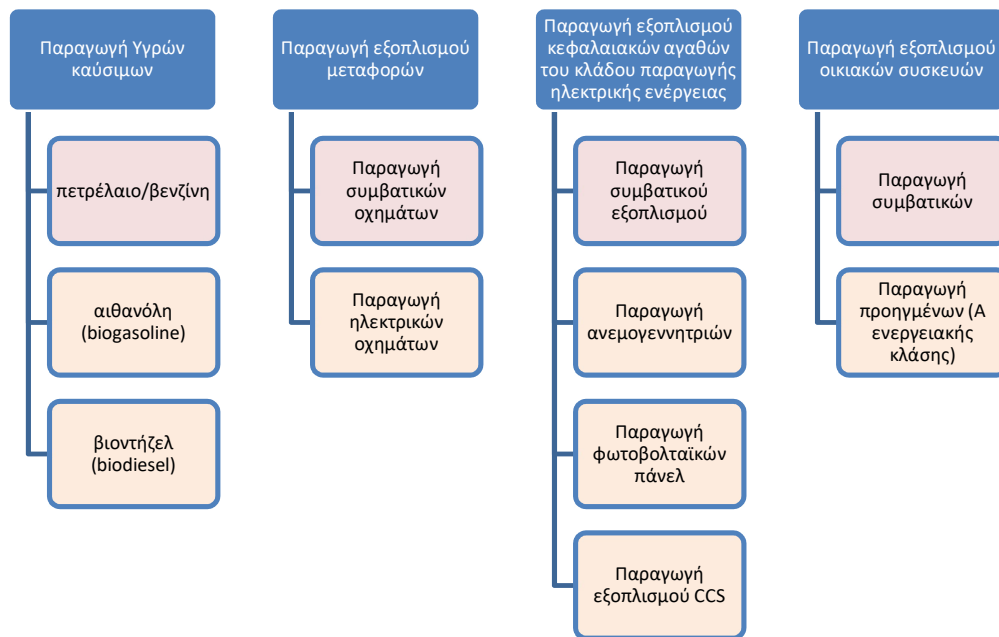


Σχήμα 4-2: Διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης στο GEME3-RD

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται τα στάδια που ακολουθούνται από τη στιγμή που η επιχείρηση προχωρά σε δαπάνες για τις υπηρεσίες E&A μέχρι που βελτιώνει την παραγωγικότητά της. Αυτή η δαπάνη των επιχειρήσεων οδηγεί σε καινοτομία που βελτιώνει την παραγωγική της διαδικασία (process innovation). Οδηγός αυτής της δαπάνης για E&A είναι η μείωση του κόστους παραγωγής του κάθε κλάδου.

4.3. Κλάδοι προηγμένων προϊόντων τεχνολογίας

Η καινοτομία προσανατολισμένη στη βελτίωση προϊόντος (product innovation) μοντελοποιείται εμμέσως με την εισαγωγή των τεχνολογικά προηγμένων προϊόντων. Τα προϊόντα αυτά είναι ακριβότερα από τα συμβατικά αλλά ποιοτικότερα. Έτσι ο τομέας υγρών καυσίμων του τυπικού μοντέλου GEME3 διαχωρίζεται σε πετρελαιοειδή (βενζίνη και πετρέλαιο) και αιθανόλη και βιοντήζελ. Ο τομέας του εξοπλισμού των μεταφορών διαχωρίζεται σε συμβατικά οχήματα και ηλεκτρικά οχήματα. Ο τομέας του εξοπλισμού των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε εξοπλισμό συμβατικής τεχνολογίας και εξοπλισμό για ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ καθώς και εξοπλισμό για CCS. Και τέλος ο τομέας που παράγει τον εξοπλισμό των οικιακών ενεργειακών συσκευών διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στις συμβατικές και στις ενεργειακής κλάσης A (προηγμένες).



Σχήμα 4-3: Σπάσιμο κλάδων στο GEME3-RD

Ο οδηγός για την ζήτηση αυτών των προηγμένων συσκευών είναι είτε η υψηλή τιμή της ενέργειας, είτε η υιοθέτηση πολιτικής απόφασης, είτε η βελτίωση της παραγωγικότητας.

Οι επενδύσεις στον τομέα της E&A οδηγούν σε μείωση του κόστους των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, επιτυγχάνοντας βελτίωση της ολικής παραγωγικότητας των κλάδων προηγμένων τεχνολογιών, ιδιαίτερα εκείνων που βρίσκονται σε αρχικά στάδια ανάπτυξης και εμπορικής εφαρμογής, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, τη δέσμευση και αποθήκευση του άνθρακα (CCS), τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις νέες συσκευές ενεργειακής εξοικονόμησης.

Η τιμολόγηση των εκπομπών CO₂ (λόγω της αγοράς των δικαιωμάτων εκπομπών, όπως το EU ETS) οδηγεί σε αύξηση των δαπανών E&A, η οποία με τη σειρά της επιτρέπει την αύξηση της ολικής παραγωγικότητας στον τομέα της παραγωγής καθαρών τεχνολογιών και εναλλακτικών καυσίμων. Επίσης, οι υψηλές τιμές των ορυκτών καυσίμων δρουν καταλυτικά στη διάδοση καθαρών καυσίμων και τεχνολογιών, αλλά και στην ενίσχυση του τομέα της E&A, γεγονός που συνδράμει στην μείωση του κόστους.

Οι υψηλότερες δαπάνες για E&A επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγικότητας σύμφωνα με τις καμπύλες εκμάθησης, οι οποίες παρουσιάζουν φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας. Οι μειώσεις του κόστους επιτυγχάνονται κατ' αρχήν στην περιοχή ή τη χώρα που εφαρμόζει την τιμολόγηση των εκπομπών του CO₂ και δαπανά σε E&A. Μειώσεις του κόστους όμως μπορούν να επιτευχθούν στη συνέχεια και σε άλλες περιοχές, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να επιδιώκουν την

τιμολόγηση των εκπομπών του CO₂, ως αποτέλεσμα της διάχυσης της τεχνολογίας μέσω της εμπορίας του σχετικού εξοπλισμού και της δημοσιοποίησης των πατεντών (ευρεσιτεχνιών).

Οι προοπτικές βελτίωσης της παραγωγικότητας στους προηγμένους τομείς βασίζονται σε καμπύλες εκμάθησης από την πράξη και την έρευνα (learning-by-doing and learning-by-research). Οι δαπάνες σε E&A χωρίζονται σε δημόσιες (προερχόμενες από δημόσιους οργανισμούς, κυβερνήσεις, κλπ.) και σε ιδιωτικές. Ένα μοντέλο γενικής οικονομικής ισορροπίας, όπως το GEME3-RD, υπολογίζει το μείγμα συντελεστών παραγωγής (όπως το κεφάλαιο, την εργασία, τα υλικά και την ενέργεια), καθώς και το μείγμα αγαθών στην τελική κατανάλωση, ως αποτέλεσμα των υποκαταστάσεων που οφείλονται στις σχετικές τιμές τους. Οι δυνατότητες υποκατάστασης επηρεάζονται, επομένως, από τον βαθμό εκμάθησης των προηγμένων τεχνολογιών σύμφωνα με τον μηχανισμό εκμάθησης.

Ο βαθμός εκμάθησης εξαρτάται από δύο παράγοντες: τις δαπάνες σε E&A και από την επίτευξη επαρκούς κλίμακας στη διάδοση των προηγμένων τεχνολογιών. Η διάδοση των τεχνολογιών με τη σειρά της εξαρτάται: α) από την ελκυστικότητά τους (οικονομική αποδοτικότητα), ώστε να υποκαταστήσουν τα «ακριβά» σε όρους εκπομπών CO₂ ορυκτά καύσιμα, β) από το μέγεθος της αγοράς εντός της οποίας πραγματοποιείται η E&A (για παράδειγμα η ΕΕ διαθέτει το κατάλληλο μέγεθος για τον σκοπό αυτό), και γ) από τη διάχυση των καινοτομιών και σχετικών πατεντών μεταξύ των χωρών.

Η χρήση των υπηρεσιών E&A οδηγεί σε αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας των προηγμένων κλάδων. Η βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές των προϊόντων. Αυτό συνεπάγεται περαιτέρω αύξηση της ζήτησης για προηγμένα προϊόντα. Ως εκ τούτου, η E&A οδηγεί σε μεγαλύτερη ζήτηση και σε χαμηλότερες τιμές σε προϊόντα προηγμένης τεχνολογίας, τα οποία τελικά υποκαθιστούν τα ορυκτά καύσιμα των οποίων το κόστος αυξάνεται λόγω τιμολόγησης των εκπομπών CO₂. Στην περίπτωση που εισάγονται τα ορυκτά καύσιμα, όπως για παράδειγμα στην ΕΕ, επιτυγχάνεται υποκατάσταση εισαγόμενων προϊόντων από εγχωρίως παραγόμενα αγαθά και υπηρεσίες. Δεδομένων των διαθέσιμων κεφαλαιουχικών και εργατικών πόρων, ο μετασχηματισμός της οικονομίας παρουσιάζει έντονη αναπτυξιακή διάσταση.

Η υψηλότερη ποιότητα και το χαμηλότερο κόστος επεκτείνουν τις δυνατότητες σε χρήση των περιορισμένων πόρων της οικονομίας σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα και σε αύξηση των επενδύσεων σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Ως εκ τούτου, οι δαπάνες για E&A δύναται, μακροχρόνια, να προκαλέσουν θετικούς ρυθμούς οικονομικής ανάπτυξης. Οδηγός για τις δαπάνες E&A είναι το κόστος των εκπομπών CO₂.

Η προκύπτουσα αναδιάρθρωση της οικονομίας βραχυπρόθεσμα κρίνεται πιο δαπανηρή από την συμβατική. Όμως, η επαγόμενη δαπάνη για E&A μετριαζει τις επιπτώσεις του κόστους και μεγεθύνει το δυναμικό της οικονομικής ανάπτυξης.

Η διαδικασία μάθησης μπορεί να οδηγήσει μακροπρόθεσμα σε ίσο ή χαμηλότερο κόστος του αναδομημένου συστήματος, σε σύγκριση με το συμβατικό. Ως εκ τούτου, ο δυναμικός μετασχηματισμός αντισταθμίζει τις βραχυχρόνιες οικονομικές απώλειες με αναπτυξιακά οφέλη σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Στο πλαίσιο του διεθνούς εμπορίου, οι καινοτομίες διαχέονται μεταξύ των χωρών ταυτόχρονα με την κατανομή του εμπορίου ως αποτέλεσμα της σχετικής ανταγωνιστικότητας σε κάθε τύπο αγαθών των διαφόρων χωρών. Στο μοντέλο GEME3-RD, το διεθνές εμπόριο είναι πλήρως ενδογενές και εξαρτάται από τις σχετικές τιμές των αγαθών στις διάφορες χώρες, και επηρεάζεται από τις επιπλέον παραγωγικότητες που προκύπτουν από την E&A, αλλά και από τα κόστη που τυχόν αυξάνουν λόγω της τιμολόγησης των εκπομπών των ορυκτών καυσίμων.

Ο συνολικός συντελεστής παραγωγικότητας του κάθε τομέα προσδιορίζεται από τη συσσωρευμένη παραγωγή και από την αθροιστική δαπάνη για E&A (απόθεμα E&A) του τομέα και από την διάδοση της γνώσης. Ως βασική υπόθεση του μοντέλου, τόσο το απόθεμα της E&A όσο και το απόθεμα της παραγωγής σε μια περιοχή, επηρεάζουν το συνολικό συντελεστή βελτίωσης της παραγωγικότητας στις υπόλοιπες περιοχές του κόσμου με μία 5ετή καθυστέρηση. Αντίθετα, δεν θεωρείται ότι υπάρχει διάχυση γνώσεων μεταξύ των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας. Οι τιμές διάχυσης διαφέρουν ανά τεχνολογία και είναι ίσες σε όλες τις περιοχές που προσδιορίζονται στο μοντέλο.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των καμπυλών μάθησης στο μοντέλο GEME3-RD.

4.4. Καμπύλες μάθησης στο GEME3-RD

Στο μοντέλο GEME3-RD οι καμπύλες μάθησης έχουν εισαχθεί στις νέες καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες (Φωτοβολταϊκά, Ανεμογεννήτριες, CCS, Βιοκαύσιμα, Ηλεκτρικά αυτοκίνητα και προχωρημένες συσκευές με υψηλή ενεργειακή απόδοση). Η Έρευνα και Ανάπτυξη είναι ενδογενής στο μοντέλο και περιλαμβάνει δαπάνες τόσο ιδιωτικό όσο και τον δημόσιο τομέα για τους τομείς καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών. Η τεχνολογική πρόοδος σε αυτούς τους τομείς συνδέεται με την συνάρτηση παραγωγής σαν συνολική παραγωγικότητα του τομέα. Έτσι, όσο αυξάνεται η συνολική παραγωγικότητα του τομέα τόσο μειώνεται η ζήτηση για παραγωγικούς συντελεστές για παραγωγή ισοδύναμου προϊόντος. Αυτή η συνολική παραγωγικότητα εξαρτάται από τις δαπάνες για Έρευνα και Ανάπτυξη, τις συνολικές πωλήσεις, τον συντελεστή απομείωσης της γνώσης και την διάχυση της γνώσης.

Για την αποφυγή προβλημάτων σύγκλισης του μοντέλου οι καμπύλες μάθησης δεν χρησιμοποιήθηκαν πλήρως ενδογενώς, αλλά με μια υστέρηση πέντε ετών. Τόσο η παραγωγή όσο και η δαπάνη οδηγούνται από την ζήτηση του τομέα

και τις επιδοτήσεις από την κεντρική κυβέρνηση. Έτσι, οι καμπύλες μάθησης έχουν εισαχθεί στο μοντέλο με την έννοια της βελτίωσης του αθροιστικού προϊόντος και όχι της μείωσης του κόστους. Δηλαδή, μεγαλώνοντας το μερίδιο των προηγμένων τεχνολογιών που είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές εναντίων των συμβατικών, βελτιώνεται η ενεργειακή αποδοτικότητα του συνολικού τομέα. Για παράδειγμα, ο κλάδος του αυτοκινήτου διαχωρίζεται σε δύο κλάδους, τον συμβατικό, που παράγει τα συμβατικά αυτοκίνητα, και τον προηγμένο, που παράγει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Με αυτόν τον τρόπο έχει εισαχθεί η κατηγορία (product innovation). Όσο αυξάνεται η διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται για κίνηση και άρα ο κλάδος παράγει ποιοτικότερα αγαθά.

Οι καμπύλες μάθησης στο μοντέλο GEMEZ-RD περιλαμβάνουν μάθηση μέσω δράσης και μάθηση μέσω έρευνας. Η μείωση του κόστους μπορεί να επιτευχθεί τόσο μέσω αυξημένης ζήτησης μιας τεχνολογίας, όσο και μέσω αύξησης των δαπανών σε Έρευνα και Ανάπτυξη μέσω της καινοτομίας. Η συναρτησιακή μορφή αυτών των καμπυλών στην βιβλιογραφία είναι η ακόλουθη:

$$C_t = C_0 \cdot \left(\frac{CAP_t}{CAP_0}\right)^{-\alpha} \cdot \left(\frac{RDSTOCK_t}{RDSTOCK_0}\right)^{-\beta} \quad (4.1)$$

Όπου, C_t είναι το μοναδιαίο κόστος της τεχνολογίας την χρονική στιγμή t , CAP_t αντιπροσωπεύει την αθροιστική παραγωγή ή την δυναμική της τεχνολογίας ή τις αθροιστικές πωλήσεις ή τις αθροιστικές επενδύσεις, $RDSTOCK_t$ είναι το απόθεμα των επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη, ο δείκτης 0 αντιπροσωπεύει την αρχική τιμή τις μεταβλητής, α είναι η ελαστικότητα του μηχανισμού μάθησης μέσω της δράσης, και β είναι η ελαστικότητα του μηχανισμού μάθησης μέσω της έρευνας.

Στο πλαίσιο των μοντέλων γενικής ισορροπίας, η τεχνολογική βελτίωση υπονοεί αύξηση της παραγωγικότητας της τεχνολογίας. Για την μοντελοποίηση της μείωσης του κόστους των καθαρών τεχνολογιών εφαρμόστηκε η συνολική παραγωγικότητα της τεχνολογίας. Η γενική συναρτησιακή μορφή που υιοθετήθηκε στην παρούσα διατριβή είναι η ακόλουθη:

$$\frac{tfp_{j,r,t+\tau}}{tfp_{j,r,t}} = \left[\frac{Stock\ production_{j,r,t+\tau}}{Stock\ production_{j,r,t}}\right]^{\varepsilon_{1,j}} \cdot \left[\frac{Knowledge\ R\&D\ stock_{j,r,t+\tau}}{Knowledge\ R\&D\ stock_{j,r,t}}\right]^{\varepsilon_{2,j}} \quad (4.2)$$

Ο δείκτης $\frac{tfp_{j,r,t+\tau}}{tfp_{j,r,t}}$ αντιπροσωπεύει την μεταβολή της συνολικής παραγωγικότητας του κλάδου j στην χώρα r την χρονική στιγμή $t + \tau$ σε σύγκριση

με την αρχική περίοδο t (όπου τ η διάρκεια της περιόδου του μοντέλου, για παράδειγμα 5 χρόνια). Ο παραπάνω τύπος δείχνει την αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών παραγωγής συγκεκριμένης τεχνολογίας j , με αυξήσεις της αθροιστικής παραγωγής (με ελαστικότητα $\varepsilon_{1,j}$) και με αύξηση του αποθέματος της γνώσης μέσω των επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη (με ελαστικότητα $\varepsilon_{2,j}$), μεταξύ της χρονικής στιγμής t και $t + \tau$ (δηλαδή μεταξύ μιας περιόδου τ).

Η διαφορά από την συνηθισμένη συναρτησιακή μορφή που βρίσκουμε στην βιβλιογραφία είναι ότι στην παρούσα διατριβή, οι μεταβλητές $Stock\ production_{j,r,t+\tau}$ και $Knowledge\ R\&D\ stock_{j,r,t+\tau}$ ενσωματώνουν και την διάδοση της γνώσης. Στην μοντελοποίηση υποθέτουμε ότι γίνεται παγκόσμια διάδοση της καινοτομίας μέσω των επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη. Η γνώση μεταφέρεται είτε έχει αποκτηθεί μέσω της πράξης είτε μέσω της έρευνας. Έτσι, η διάχυση της γνώσης προέρχεται τόσο από την αθροιστική παραγωγή, όσο και από αθροιστικές επενδύσεις σε Έρευνα και Ανάπτυξη άλλων χωρών. Λόγω έλλειψης δεδομένων στους συγκεκριμένους τομείς που έχουν μοντελοποιηθεί οι καμπύλες μάθησης, η μεταφορά γνώσης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών δεν έχει μοντελοποιηθεί. Έτσι, η βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών παραγωγής μιας τεχνολογίας j στην περιοχή r δεν καθορίζεται μόνο από την αθροιστική παραγωγή και έρευνα της ίδιας περιοχής, αλλά και από τον υπόλοιπο κόσμο, λόγω της μεταφοράς της γνώσης. Η ενσωμάτωση της διάχυσης της γνώσης φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

$$\frac{tfp_{j,r,t+\tau}}{tfp_{j,r,t}} = \frac{\left[\frac{Stock\ production_{j,r,t+\tau} + \sum_{c \neq r} Stock\ production_{j,c,t} \cdot \delta_{3,j}}{Stock\ production_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} Stock\ production_{j,c,t-\tau} \cdot \delta_{3,j}} \right]^{\varepsilon_{1,j}} \cdot \left[\frac{Stock\ R\&D_{j,r,t+\tau} + \sum_{c \neq r} Stock\ R\&D_{j,c,t} \cdot \delta_{4,j}}{Stock\ R\&D_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} Stock\ R\&D_{j,c,t-\tau} \cdot \delta_{4,j}} \right]^{\varepsilon_{2,j}}}{(4.3)}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το απόθεμα παραγωγής και E&A, που είναι συσσωρευμένο στις περιοχές c , οδηγεί στη βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών της περιοχής r με μία περίοδο υστέρησης (πέντε έτη). Το ποσοστό της γνώσης που μεταφέρεται από τη μία περιοχή σε άλλα μέρη του κόσμου αντιπροσωπεύεται από τα ποσοστά δ_3 (για την μάθηση μέσω της δράσης) και δ_4 (για την μάθηση μέσω της έρευνας), που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Αν θέλουμε να προσομοιώσουμε την υπόθεση της τεχνολογικής μεταφοράς χωρίς περιορισμούς μεταξύ των περιοχών («πλήρης διάχυσης γνώσης»), οι παράμετροι δ_3 και δ_4 λαμβάνουν την τιμή ένα. Από την άλλη πλευρά, εάν αυτά τα ποσοστά λάβουν την τιμή μηδέν, δεν συμβαίνουν διαχύσεις μεταξύ των περιφερειών. Στην

τρέχουσα έκδοση του μοντέλου, τα ποσοστά δ_3 και δ_4 διαφέρουν ανά τεχνολογία καθαρής ενέργειας, αλλά έχουν τις ίδιες τιμές σε όλες τις περιοχές που προσδιορίζονται στο μοντέλο. Οι τιμές για το βαθμό διάχυσης για τους διάφορους τομείς παραγωγής καθαρής ενέργειας, που αναπαρίστανται στο μοντέλο GEME3-RD, δίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-2). Στο μοντέλο GEME3-RD, τα ποσοστά διάχυσης ακολουθούν τους (Noailly and Shestalova 2013) και είναι διαφορετικά μεταξύ της μάθησης μέσα από τη δράση και της μάθησης μέσα από την έρευνα. Η διάχυση της γνώσης είναι υψηλότερη όταν η γνώση προέρχεται από δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη, ενώ όταν προέρχεται από μάθηση μέσα από την πράξη περιορίζεται στην περιοχή που εφαρμόζεται.

Πίνακας 4-2: Ποσοστά μη διάχυσης της γνώσης στο GEME3-RD

Τομείς προηγμένης τεχνολογίας	Ποσοστό διάχυσης δ_3 για την μάθηση μέσω της δράσης	Ποσοστό διάχυσης δ_4 (για την μάθηση μέσω της έρευνας)
Παραγωγή Αιθανόλης	0.63	-
Παραγωγή βιοντήζελ	0.63	-
Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας	0.12	0.82
Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	0.32	0.62
Κατασκευή εξοπλισμού CCS	0.12	0.56
Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων	0.12	0.56
Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας	0.71	-

Ως ποσοστό διάχυσης θεωρούμε ότι είναι το ποσοστό της γνώσης που διαχέεται.

Ο ενδογενής μηχανισμός μάθησης του μοντέλου GEME3-RD ενσωματώνει, επίσης, συντελεστές απόσβεσης της γνώσης. Ο μηχανισμός της απόσβεσης της γνώσης της καμπύλης μάθησης δύο παραγόντων, που υιοθετείται στο μοντέλο GEME3-RD για τον τομέα παραγωγής καθαρής ενέργειας, περιγράφεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{tfp_{j,r,t+\tau}}{tfp_{j,r,t}} = \left[\frac{CSales_{j,r,t} \cdot (1 - \delta_1)^\tau + XD_{j,r,t} \cdot \frac{1 - (1 - \delta_1)^\tau}{\delta_1} + \sum_{c \neq r} CSales_{j,c,t} \cdot (1 - \delta_1)^\tau \cdot \delta_3}{CSales_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} CSales_{j,c,t-\tau} \cdot (1 - \delta_1)^\tau \cdot \delta_3} \right]^{\varepsilon_1} \cdot \left[\frac{RD_{j,r,t} \cdot (1 - \delta_2)^\tau + IRDE_{j,r,t} \cdot \frac{1 - (1 - \delta_2)^\tau}{\delta_2} + \sum_{c \neq r} RD_{j,c,t} \cdot (1 - \delta_2)^\tau \cdot \delta_4}{RD_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} RD_{j,c,t-\tau} \cdot (1 - \delta_2)^\tau \cdot \delta_4} \right]^{\varepsilon_2} \quad (4.4)$$

Τα δύο μέρη της εξίσωσης περιγράφουν τους μηχανισμούς της μάθησης μέσω της δράσης και της μάθησης μέσω της έρευνας αντίστοιχα. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι:

$CSales_{j,r,t}$: το οποίο αντιπροσωπεύει το συσσωρευτικό απόθεμα της παραγωγής στην περιοχή r

$XD_{j,r,t}$, η οποία είναι η παραγωγή του εξοπλισμού στην περιοχή r σε χρόνο t

$RD_{j,r,t}$ το οποίο είναι το απόθεμα της Ε&Α σε κάθε περιοχή r

$IRDE_{j,r,t}$, το οποίο αντιπροσωπεύει τις δαπάνες Ε&Α που πραγματοποιούνται από την περιφέρεια r στο χρόνο t

Στην μοντελοποίηση της βελτίωσης της συνολικής παραγωγικότητας του κάθε τομέα j των νέων καθαρών τεχνολογιών ενέργειας έχουν ενσωματωθεί οι συντελεστές απαξίωσης της γνώσης τόσο αυτής που έχει αποκτηθεί μέσω της δράσης και όσο και μέσω της έρευνας.

δ_1 είναι ο συντελεστής απαξίωσης της συσσωρευμένης παραγωγής στην περιοχή r ($CSales_{j,r,t}$)

δ_2 είναι ο συντελεστής απαξίωσης του συσσωρευμένου αποθέματος Ε&Α στην περιοχή r ($RD_{j,r,t}$)

Τα ποσοστά απαξίωσης περιγράφουν την ποσότητα της γνώσης που ξεπερνιέται μέσα σε μια χρονική περίοδο του μοντέλου. Η παραγωγικότητα κατά την περίοδο $t + \tau$ εξαρτάται από την απαξίωση του αποθέματος Ε&Α του έτους t μειώνοντας το απόθεμα $RD_{r,t}$ κατά $(1 - \delta_2)^\tau$. Για παράδειγμα, εάν ο συντελεστής απαξίωσης για την Ε&Α (δ_2) είναι 10% ετησίως, τότε το ποσό του αποθέματος Ε&Α κατά την περίοδο t που απαξιώνεται κατά την επόμενη περίοδο του μοντέλου $t + \tau$ (μετά από 5 έτη) είναι $(1-10\%)^5$ έτσι μεταφέρεται μόνο το 60% του αρχικού ποσού. Η ετήσια παραγωγή ($XD_{j,r,t}$) και οι δαπάνες Ε&Α ($IRDE_{j,r,t}$) στην περιοχή r στο

χρόνο t επηρεάζουν τις βελτιώσεις στην παραγωγικότητα στην ίδια περιοχή κατά την επόμενη περίοδο του μοντέλου (με χρονική πενταετή υστέρηση).

Λόγω έλλειψης δεδομένων για ποσοστά απαξίωσης της γνώσης από περιοχή σε περιοχή, στο μοντέλο GEME3-RD θεωρήθηκε ότι τα ποσοστά απαξίωσης της γνώσης είναι ίδια σε όλες τις περιοχές. Τα ποσοστά απαξίωσης δ_1 και δ_2 παίρνουν τιμές μεταξύ του 0 (όταν η γνώση δεν χάνεται) και του 1 (θεωρώντας ότι το συνολικό ποσοστό γνώσης χάνεται σε περίοδο ενός έτους). Αυτά τα ποσοστά έχουν οριστεί σε κατάλληλα επίπεδα για κάθε τεχνολογία, ακολουθώντας τη διαθέσιμη βιβλιογραφία (Grubler and Nemet 2012; Nemet 2009; Noailly and Shestalova 2013; Watanabe et al. 2002). Οι τιμές των ετήσιων ποσοστών απαξίωσης, που χρησιμοποιούνται για τους τομείς παραγωγής καθαρής ενέργειας που προσδιορίζονται στο GEME3-RD, δίνονται (Πίνακας 4-3). Τα φωτοβολταϊκά έχουν υψηλότερα ποσοστά απαξίωσης έναντι των άλλων τεχνολογιών καθαρής ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, CCS). Το μοντέλο έχει υψηλότερα ποσοστά απαξίωσης για E&A έναντι των επιδράσεων της μάθησης μέσα από τη δράση (LbD).

Πίνακας 4-3: Ποσοστά απαξίωσης για τους κλάδους προηγμένης τεχνολογίας στο μοντέλο GEME3-RD

Τομείς προηγμένης τεχνολογίας	Ποσοστό απαξίωσης δ_1 για την μάθηση μέσω της δράσης	Ποσοστό απαξίωσης δ_2 (για την μάθηση μέσω της έρευνας)
Παραγωγή Αιθανόλης	0.04	-
Παραγωγή βιοντήζελ	0.04	-
Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας	0.04	0.07
Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	0.06	0.10
Κατασκευή εξοπλισμού CCS	0.04	0.09
Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων	0.04	0.08
Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας	0.04	-

Οι παράμετροι ε_1 και ε_2 αντιπροσωπεύουν τις ελαστικότητες της μάθησης μέσα από τη δράση και μέσα από την έρευνα αντίστοιχα. Οι τιμές των ελαστικοτήτων προσδιορίζονται προκειμένου να αναπαράγουν τα ποσοστά μάθησης του μοντέλου GEME3-RD (για μια αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση βλέπε (Panagiotis Karkatsoulis et al. 2014)). Τα ποσοστά μάθησης ποσοτικοποιούν τις τεχνολογικές βελτιώσεις (μείωση του κόστους), που πραγματοποιούνται για

κάθε διπλασιασμό της αθροιστικής παραγωγής και του αποθέματος E&A. Οι σχέσεις μεταξύ των ποσοστών και των ελαστικοτήτων μάθησης περιγράφονται στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$LRd = 1 - 2^{-\varepsilon_1} \quad \text{για τη μάθηση μέσα από την πράξη (learning by doing)}$$

$$LRs = 1 - 2^{-\varepsilon_2} \quad \text{για την μάθηση μέσα από την έρευνα (learning by research)}$$

Ο παρακάτω Πίνακας 4-4 παρουσιάζει τις τιμές των ποσοστών μάθησης που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο GEME3-RD για τους διάφορους τομείς παραγωγής καθαρής ενέργειας. Οι ίδιες τιμές χρησιμοποιούνται σε όλες τις περιοχές που προσδιορίζονται στο μοντέλο.

Πίνακας 4-4: Ποσοστά μάθησης για τους κλάδους προηγμένης τεχνολογίας στο μοντέλο GEME3-RD

Τομείς προηγμένης τεχνολογίας	Ποσοστό μάθησης μέσα από την πράξης (LRd)	Ποσοστό μάθησης μέσω της Έρευνας (LRs)
Παραγωγή Αιθανόλης	0.10	-
Παραγωγή βιοντήζελ	0.10	-
Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας	0.07	0.105
Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	0.17	0.12
Κατασκευή εξοπλισμού CCS	0.07	0.07
Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων	0.0425 (0.08) ³⁰	0.06 (0.15)
Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας	0.04	-

Παρόλο που έχουν υποτεθεί ίδια ποσοστά μάθησης ανά περιοχή δεν συνεπάγεται ότι η βελτίωση παραγωγικότητας θα είναι ίδια, η βελτίωση στην παραγωγικότητα όλων των παραγόντων διαφέρουν ανά περιοχή, ανάλογα με την παραγωγή της περιοχής και το απόθεμα E&A των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας. Στην περίπτωση που μία περιοχή (πχ η Ευρώπη) υιοθετήσει μονομερώς έντονες πολιτικές για το κλίμα, μειώσεις του κόστους (μάθησης) μπορούν να επιτευχθούν λόγω της υψηλότερης ανάπτυξης και αύξησης των δαπανών σε E&A σε τεχνολογίες μηδενικής εκπομπής άνθρακα, οδηγώντας σε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα των παγκόσμιων αγορών (Πλεονέκτημα του πρωτοπόρου)³¹. Η διάδοση της τεχνολογίας,

³⁰ Οι αριθμοί σε παρένθεση αφορούν το ποσοστό μάθησης των μπαταριών

³¹ (P. Karkatsoulis et al. 2016)

εξαιτίας των δευτερογενών συνεπειών της γνώσης παγκοσμίως, μειώνει τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου με την πάροδο του χρόνου.

Οι καμπύλες μάθησης που χρησιμοποιούνται ευρέως σε μοντέλα για την μείωση κόστους έχουν το εξής μειονέκτημα. Όταν το κόστος της νέας τεχνολογίας πλησιάζει το κόστος μιας ώριμης τεχνολογίας, η εκτίμηση του ρυθμού μάθησης δεν είναι σωστή. Μάλιστα μπορεί να οδηγήσει και σε παράλογα αποτελέσματα, όπως το κόστος μιας νέας τεχνολογίας ενώ ήταν πάρα πολύ υψηλό να πέσει πολύ κάτω από το κόστος μιας ώριμης συμβατικής τεχνολογίας. Για την αποτροπή αυτής της παράλογης συμπεριφοράς στην παρούσα διατριβή έχει προταθεί ότι οι ελαστικότητες των καμπυλών μάθησης να αλλάζουν στο χρόνο, έτσι ώστε όσο πλησιάζουν το κόστος της συμβατικής τεχνολογίας ή κάποιο κατώτατο όριο κόστους να επιβραδύνουν και στο τέλος να σταματούν την μείωση του κόστους. Η συνάρτηση που εφαρμόστηκε είναι η εξής:

$$break_{j,r,t} = \frac{e^{\frac{Cost_{j,r,t} - FloorCost_j \cdot A}{Cost_{j,r,0}}} - 1}{e^{\frac{Cost_{j,r,t} - FloorCost_j \cdot A}{Cost_{j,r,0}}}}$$

Η παραπάνω συνάρτηση προσομοιώνει την κλαδωτή συνάρτηση (1,0) με συνεχή τρόπο. Έτσι στην αρχή που το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο από το $FloorCos$, ο βαθμός επιβράδυνσης παίρνει τιμή ένα, ενώ όταν το κόστος πλησιάζει στο $FloorCost$ ο βαθμός επιβράδυνσης τείνει στο μηδέν. Το A δίνει την ταχύτητα σύγκλισης.

Όπου:

$Cost_{j,rt}$: Το κόστος της τεχνολογίας την χρονική στιγμή t

$FloorCost_j$: Η μέγιστη μείωση του κόστους της τεχνολογίας

A : Ένας πολύ μεγάλος αριθμός

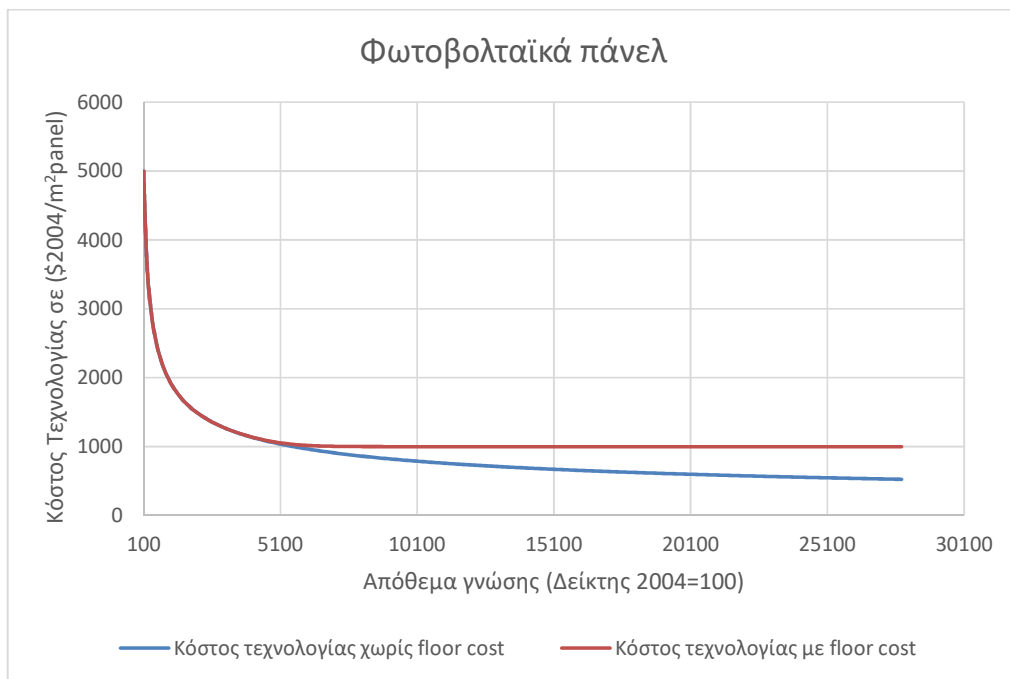
$break_{j,r,t}$: ο βαθμός επιβράδυνσης της μείωσης του κόστους

Το κόστος της τεχνολογίας ($Cost_{j,rt}$) συνδέεται μόνο με την συνολική παραγωγικότητα και όχι με άλλες μεταβλητές του μοντέλου όπως η τιμή της εργασίας και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Cost_{j,r,t+\tau} = Cost_{j,rt} \cdot \frac{tfp_{j,r,t}}{tfp_{j,r,t+\tau}}$$

Έτσι, η τελική σχέση για την βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{tfp_{j,r,t+\tau}}{tfp_{j,r,t}} = \left[\frac{CSales_{j,r,t} \cdot (1 - \delta_1)^\tau + XD_{j,r,t} \cdot \frac{1 - (1 - \delta_1)^\tau}{\delta_1} + \sum_{c \neq r} CSales_{j,c,t} \cdot (1 - \delta_1)^\tau \cdot (1 - \delta_3)}{CSales_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} CSales_{j,c,t-\tau} \cdot (1 - \delta_1)^\tau \cdot (1 - \delta_3)} \right]^{\varepsilon_1 \cdot break_{j,r,t}} \cdot \left[\frac{RD_{j,r,t} \cdot (1 - \delta_2)^\tau + IRDE_{j,r,t} \cdot \frac{1 - (1 - \delta_2)^\tau}{\delta_2} + \sum_{c \neq r} RD_{j,c,t} \cdot (1 - \delta_2)^\tau \cdot (1 - \delta_4)}{RD_{j,r,t} + \sum_{c \neq r} RD_{j,c,t-\tau} \cdot (1 - \delta_2)^\tau \cdot (1 - \delta_4)} \right]^{\varepsilon_2 \cdot break_{j,r,t}}$$



Σχήμα 4-4: Παράδειγμα μεταβολής κόστους της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών πάνελ με και χωρίς floor cost (δηλαδή με και χωρίς κατώτατο όριο το οποίο όταν ξεπεραστεί δεν υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω τεχνολογικής βελτίωσης)

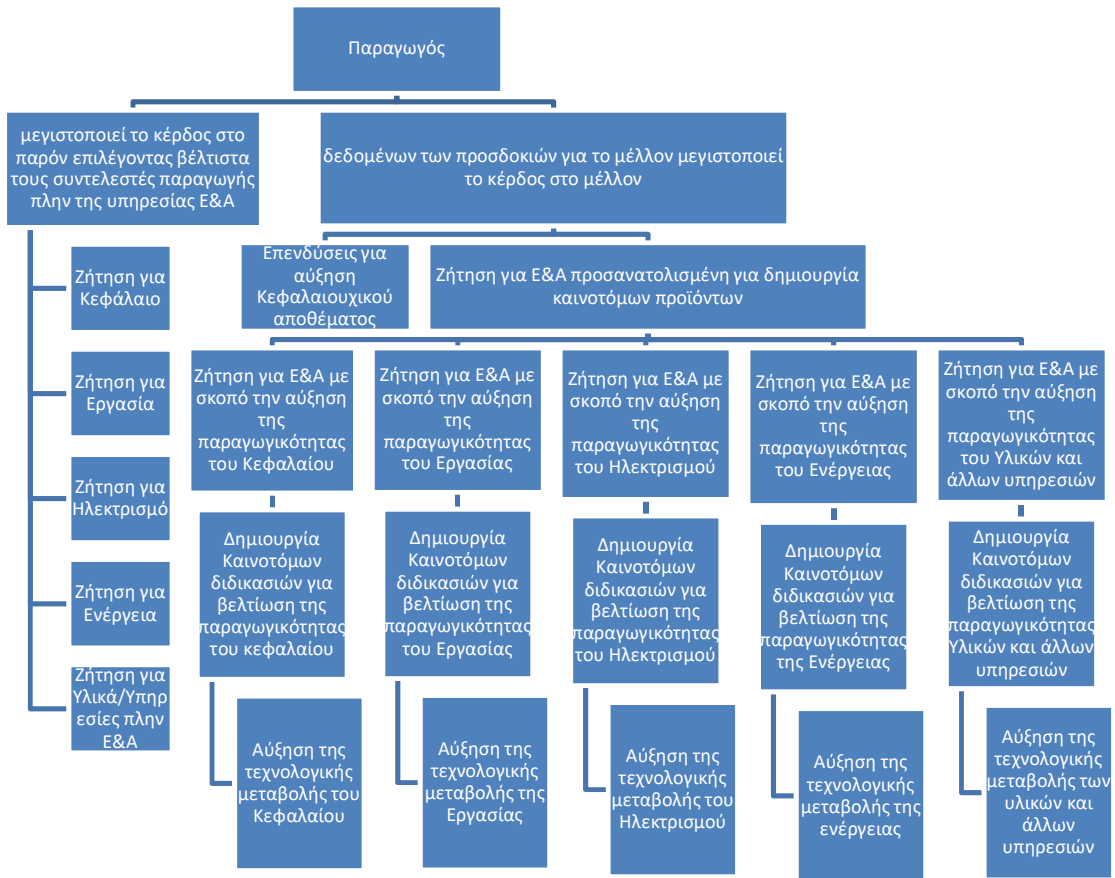
Οι κλάδοι των προηγμένων τεχνολογιών εισήχθησαν στο μοντέλο με σκοπό την βελτίωση της ποσοτικοποίησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία (έχοντας κυρίαρχο ρόλο στον απαιτούμενο μετασχηματισμό της οικονομίας), εξετάζοντας πιθανά οφέλη του πρωτοπόρου στις φιλόδοξες πολιτικές για το κλίμα (Βλέπε την εφαρμογή στο Κεφάλαιο 9).

4.5. Κλάδοι μη προηγμένων προϊόντων τεχνολογίας (Οι υπόλοιποι κλάδοι του μοντέλου)

Για κάθε κλάδο παραγωγής (j) υπάρχει μια αντιπροσωπευτική επιχείρηση, η οποία επιθυμεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της διαχρονικά κάνοντας επενδύσεις (Κεφαλαίου), ώστε να αυξήσει το δυναμικό της και δαπανώντας σε Έρευνα και Ανάπτυξη με σκοπό να μειώσει το κόστος παραγωγής της (process innovation). Στο μοντέλο έχουμε κάνει την υπόθεση, ότι οι επιχειρήσεις λειτουργούν σε καθεστώς τέλειου ανταγωνισμού, συνεπώς το πρόβλημα μεγιστοποίησης ισοδύναμα μετατρέπεται σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους της επιχείρησης. Ο παραγωγός δαπανά για κάθε συντελεστή παραγωγής κεφάλαιο, εργασία και ενδιάμεσα αγαθά για να παράγει το τελικό του αγαθό, αλλά και για έρευνα και ανάπτυξη που αφορά κάθε συντελεστή παραγωγής, με σκοπό να δημιουργήσει καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής, έτσι ώστε να βελτιώσει την παραγωγικότητα τους³².

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις διαφορετικές αποφάσεις της κάθε επιχείρησης και πως αυτές οδηγούν σε επιπλέον παραγωγικότητα.

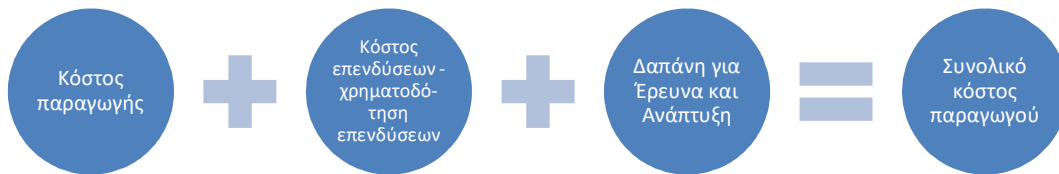
³² Για να απλοποιηθεί η παρουσίαση, οι δείκτες του κάθε τομέα j και της κάθε περιοχής r θα παραλείπονται όπου δεν είναι απαραίτητοι.



Σχήμα 4-5: Στάδια αποφάσεων τις επιχείρησης.

Στο μοντέλο έχει γίνει η υπόθεση του putty-putty (δηλαδή δεν συμπεριλαμβάνει γενιές κεφαλαιουχικού αποθέματος), από την οποία συνεπάγεται ότι έχουμε δύο συναρτήσεις παραγωγής: την εκ των προτέρων (ex-ante production function) και την εκ των υστέρων (ex-post production function).

Για απλοποίηση του προβλήματος βελτιστοποίησης της επιχείρησης, διαχωρίζουμε το πρόβλημα σε τρία μέρη, εκ των οποίων το πρώτο αφορά το παρόν, ενώ το δεύτερο και το τρίτο αφορά το μέλλον, και τα οποία λύνονται ταυτόχρονα. Ισχύει η παρακάτω σχέση:



Στο πρώτο μέρος, ο παραγωγός αποφασίζει βέλτιστα τη ζήτηση για κάθε συντελεστή παραγωγής, έχοντας σαν δεδομένο την εκ των υστέρων συνάρτηση παραγωγής (ex-post production function). Στις εκ των υστέρων συναρτήσεις παραγωγής, οι τεχνικές αλλαγές των συντελεστών παραγωγής είναι εξωγενείς μεταβλητές για την τρέχουσα περίοδο. Στο δεύτερο μέρος είναι η απόφαση για Επένδυση, η οποία παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Στο μοντέλο GEMEZ, το κόστος των επενδύσεων είναι ίσο με την χρηματοδότηση³³, συνεπώς το κόστος της επένδυσης δεν μετακυλιέται στους τελικούς καταναλωτές, αλλά στους μετόχους/δανειστές. Στο τρίτο μέρος αφορά την απόφαση για δαπάνη σε E&A, με σκοπό να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες για τον κάθε συντελεστή παραγωγής στο μέλλον. Για τον προσανατολισμό και το ύψος της δαπάνης για την υπηρεσία της Έρευνας και Ανάπτυξης, ο παραγωγός χρησιμοποιεί τις εκ των προτέρων συναρτήσεις παραγωγής (ex-ante production functions). Στις εκ των προτέρων συναρτήσεις παραγωγής οι τεχνικές αλλαγές των συντελεστών παραγωγής είναι ενδογενείς μεταβλητές.

Πώς η δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη επηρεάζει την τεχνολογική μεταβολή των συντελεστών παραγωγής;

Απάντηση σε αυτή την ερώτηση μπορεί να βρεθεί στην βιβλιογραφία της ενδογενούς ανάπτυξης (Romer 1990), (Grossman and Helpman 1991), (Aghion and Howitt 1992), (C. I. Jones 1995), (Nordhaus 2002), (A. Fougeyrollas, Le Mouél, and Zagame 2001). Η βασική ιδέα είναι, ότι η γνώση (A) είναι η συσσώρευση ιδεών και ότι οι ιδέες αναπτύχθηκαν από ανθρώπους (ερευνητές, L_A).



³³ Η χρηματοδότηση των επενδύσεων γίνεται με δανεισμό, είτε αυτός προέρχεται από έκδοση ομολογιών, είτε από αύξηση μετοχικού κεφαλαίου.

Έτσι μπορούμε να πούμε, ότι η μεταβολή της γνώσης είναι ίση με τον αριθμό των ανθρώπων που την ανακάλυψαν πολλαπλασιασμένη με ένα ποσοστό (δ) το οποίο αντιπροσωπεύει τον ρυθμό που η Έρευνα και Ανάπτυξη παράγει ιδέες:

$$\dot{A} = \delta \cdot L_A$$

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να την δούμε σαν μια διαδικασία Poisson, όπου δ είναι ο ρυθμός άφιξης της ιδέας. Επεκτείνοντας την παραπάνω σχέση μπορούμε να πούμε, ότι η πιθανότητα άφιξης μιας νέας ιδέας αυξάνεται όσο αυξάνεται η γνώση λόγω των θετικών δευτερογενών επιπτώσεων στην παραγωγή της γνώσης. Εναλλακτικά, ίσως οι προφανείς ιδέες ανακαλύπτονται πρώτα, έτσι η πιθανότητα άφιξης μιας νέας ιδέας είναι μεγαλύτερη στην αρχή, αλλά η πιθανότητα μειώνεται όσο αυξάνεται το επίπεδο της γνώσης, θέτοντας την διαθέσιμη συγκέντρωση ιδεών προς ανακάλυψη περιορισμένη. Μπορούμε να φανταστούμε τις ιδέες σαν ψάρια μέσα σε μια λίμνη, και τους ερευνητές σαν ψαράδες που είναι στην άκρη της λίμνης και ψαρεύουν. Στην αρχή έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να βρουν μια νέα ιδέα αλλά μειώνεται με τον χρόνο, γνωστό στην βιβλιογραφία ως fishing out effect. Αυτές τις δύο αντίθετες επιδράσεις της γνώσης μπορούμε να τις βρούμε στους (C. I. Jones 1995), (Nordhaus 2002) και (A. Fougeyrollas, Le Mouël, and Zagame 2001), ενώ η ιδέα της αρνητικής επίδρασης της γνώσης στην αύξηση της τεχνολογικής προόδου ξεκίνησε από τον (Jaffe 1986). Ουσιαστικά ο ρυθμός άφιξης (δ) μιας νέας ιδέας είναι η παραγωγικότητα της γνώσης, η οποία εξαρτάται από δύο αντίθετους παράγοντες: την διάχυση της γνώσης και το fishing out effect. Οπότε γενικά η σχέση που συνδέει την δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη με την τεχνολογική πρόοδο είναι η ακόλουθη:

$$Y = F(A, K, L_Y)$$

$$\dot{A} = G(A, L_A)$$

Στηριζόμενοι στην παραπάνω ιδέα, μπορούμε να συνδέσουμε την Έρευνα και Ανάπτυξη με την βελτίωση της τεχνολογικής μεταβολής σε συγκεκριμένους συντελεστές παραγωγής. Δεδομένου του περιορισμού των υποδομών και του επιστημονικού προσωπικού στον κλάδο της Έρευνας και Ανάπτυξης, η γνώση, άρα και η καινοτομία, είναι περιορισμένη σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έτσι, οι αντιπροσωπευτικοί παραγωγοί διαλέγουν βέλτιστα τον προσανατολισμό της Έρευνας και Ανάπτυξης για κάθε χρονική περίοδο (βελτίωση του κάθε συντελεστή παραγωγής) βάσει της ζήτησης και τις τιμές των συντελεστών παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι η βελτίωση της παραγωγικότητας του ενός συντελεστή παραγωγής γίνεται εις βάρος της παραγωγικότητας των άλλων συντελεστών παραγωγής.

Το πρόβλημα, που καλείται να λύσει ο αντιπροσωπευτικός παραγωγός του κάθε κλάδου, είναι ένα πρόβλημα βέλτιστου ελέγχου. Ο παραγωγός θέλει να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του διαχρονικά. Λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- (i) Την σχέση που συνδέει τη δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη με την βελτίωση της τεχνολογικής μεταβολής κάθε τομέα
- (ii) Την τρέχουσα και την προσδοκώμενη για το μέλλον ζήτηση στην οικονομία
- (iii) Τον τρέχοντα τρόπο παραγωγής και τον μελλοντικό δεδομένου των αποφάσεων για Έρευνα και Ανάπτυξη
- (iv) Τους περιορισμούς των συντελεστών παραγωγής
- (v) Την τρέχουσα και προσδοκώμενη για το μέλλον παραγωγικότητα της Έρευνας και Ανάπτυξης

Το παραπάνω πρόβλημα δεν έχει αναλυτική λύση. Για την προσέγγισή του χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος RUM (Recursive Update Model, για περισσότερα βλέπε (Van Zon 1994)). Για την απλοποίηση της παρουσίασης της προσέγγισης της λύσης του παραπάνω προβλήματος, θεωρούμε ως συνάρτηση παραγωγής μία CES με δύο πρωταρχικούς συντελεστές παραγωγής (κεφάλαιο και εργασία).

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος του παραγωγού δίνεται ακολούθως:

$$\min Z_{j,t} = \int_t^{+\infty} e^{-rI_s \cdot (s-t)} \cdot \left\{ \sum_v (pL_{j,s}^v \cdot L_{j,s}^v + pK_{j,s}^v \cdot K_{j,s}^v) + \sum_f pIR_{f,j,s} \cdot IR_{f,j,s}^{new} \right\} ds$$

Υπό τους ακόλουθους περιορισμούς/υποθέσεις:

- 1) Η εκ των προτέρων συνάρτηση παραγωγής (ex-ante production function)

$$\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}} = \left(\theta_{j,s}^{new,L} \cdot \left(\frac{L_{j,s}^{new}}{L_{j,t}^{new}} \right)^{\frac{\sigma_0^{new}-1}{\sigma_0^{new}}} + \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \left(\frac{K_{j,r,s}^{new}}{K_{j,r,t}^{new}} \right)^{\frac{\sigma_0^{new}-1}{\sigma_0^{new}}} \right)^{\frac{\sigma_0^{new}}{\sigma_0^{new}-1}}$$

- 2) Η εκ των υστέρων συνάρτηση παραγωγής (ex-post production function)

$$\frac{X_{j,s}^{old}}{X_{j,t}^{old}} = \left(\theta_{j,s}^{old,L} \cdot \left(\frac{L_{j,s}^{old}}{L_{j,t}^{old}} \right)^{\frac{\sigma_0^{old}-1}{\sigma_0^{old}}} + \theta_{j,s}^{old,K} \cdot \left(\frac{K_{j,t}^{old}}{K_{j,t}^{old}} \right)^{\frac{\sigma_0^{old}-1}{\sigma_0^{old}}} \right)^{\frac{\sigma_0^{old}}{\sigma_0^{old}-1}}$$

- 3) Την σχέση που συνδέει την Έρευνα και Ανάπτυξη με την βελτίωσης της τεχνολογικής μεταβολής για κάθε συντελεστή παραγωγής:

$$AQFI_{f,j,s} = G_f \left(AQ_{f,j,s}, \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}} \right)$$

- 4) Η συνολική ζήτηση του κλάδου δίνεται εξωγενώς $DEM_{j,t}$ και η οποία προσφέρεται από τον παραγωγό του κλάδου κάνοντας βέλτιστη κατανομή μεταξύ παλιάς και νέας γενιάς Κεφαλαίου (εργοστασίου).

$$X_{j,s}^{old} + X_{j,s}^{new} \geq DEM_{j,s}$$

- 5) Οι τιμές των συντελεστών παραγωγής είναι γνωστές θεωρώντας μωπικές προσδοκίες:

$$pF_{f,j,s}^{new} = pF_{f,j,t}^{new}$$

- 6) Η συνάρτηση συσσώρευσης του Κεφαλαίου:

$$K_{j,s}^{old} = K_{j,s}^{new} - \delta_{j,s} \cdot K_{j,s}^{old}$$

- 7) Δεν γνωρίζει την δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη των άλλων παραγωγών την τρέχουσα στιγμή αλλά με μια υστέρηση οπότε η παραγωγικότητα της Έρευνας και Ανάπτυξης κατά την βελτιστοποίηση θεωρείται εξωγενής μεταβλητή.

Πίνακας 4-5: Δείκτες του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου

Δείκτες/Σύμβολα:	
t	Τρέχουσα Χρονική περίοδος
s	Χρονική περίοδος (t, ∞)
j	Αντιπροσωπευτική επιχείρηση κάθε κλάδου (από την πλευρά της προσφοράς)
f	Όλοι οι συντελεστές παραγωγής (Κεφάλαιο, Εργασία)
v	Γενιά κεφαλαίου
$\dot{}$	Μεταβολή μιας μεταβλητής στο χρόνο

Πίνακας 4-6: Παράμετροι του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου

Παράμετροι:	
$\theta_{j,s}^{new,f}$	Μερίδια αξίας της συνάρτησης παραγωγής σταθερής ελαστικότητας CES της νέας γενιάς Κεφαλαίου για κάθε συντελεστή παραγωγής
$\theta_{j,s}^{old,f}$	Μερίδια αξίας της συνάρτησης παραγωγής σταθερής ελαστικότητας CES της παλιάς γενιάς Κεφαλαίου για κάθε συντελεστή παραγωγής

$\sigma_{j,s}^{new}$	Ελαστικότητα της συνάρτησης παραγωγής CES στο επίπεδο που ανήκει ο συντελεστής παραγωγής f της νέας γενιάς κεφαλαίου
$\sigma_{j,s}^{old}$	Ελαστικότητα της συνάρτησης παραγωγής CES στο επίπεδο που ανήκει ο συντελεστής παραγωγής f της παλιάς γενιάς κεφαλαίου
$\delta_{j,s}$	Ρυθμός καταστροφής του κεφαλαίου
$\alpha_{f,j,s}$	Συντελεστής αναλογικότητας
$b_{f,j}$	Εκθέτης που καθορίζει τις αποδόσεις κλίμακας (fishing out effect parameter)

Πίνακας 4-7: Μεταβλητές του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου

Μεταβλητές:	
$pF_{f,j,s}^v$	Αμοιβή κάθε συντελεστή παραγωγής
$F_{f,j,s}^v$	Ζήτηση για κάθε συντελεστή παραγωγής
$K_{j,s}$	Ζήτηση Κεφαλαίου
$L_{j,s}$	Ζήτηση Εργασίας
$KS_{j,s}$	Προσφορά Κεφαλαίου
$pK_{j,s}$	Αμοιβή κεφαλαίου
$pL_{j,s}$	Αμοιβή εργασίας
$pI_{j,s}$	Κόστος αντικατάστασης κεφαλαίου
$pIR_{f,j,r,s}$	Τιμή της υπηρεσίας Έρευνας και Ανάπτυξης
$IN_{j,r,s}$	Ζήτηση για Επένδυση
$rl_{r,s}$	Επιτόκιο προεξόφλησης της επιχείρησης
$CES_j^v(\cdot)$	Συνάρτηση παραγωγής
$G_f(\cdot)$	Συναρτησιακή μορφή του δεξιού μέλους της διαφορικής εξίσωσης που συνδέει την μεταβολή της τεχνολογικής προόδου με την δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη
$X_{j,s}^v$	Παραγωγή
$DEM_{j,t}$	Η συνολική ζήτηση του κλάδου δίνεται εξωγενώς
Μεταβλητές κατάστασης (αποθέματα):	
$K_{j,s}^{old}$	Ζήτηση Κεφαλαίου για την συνάρτηση παραγωγής παλαιάς γενιάς εργοστασίου
$L_{j,s}^{old}$	Ζήτηση εργασίας για την συνάρτηση παραγωγής παλαιάς γενιάς εργοστασίου
$Q_{f,j,s}$	Δείκτης παραγωγικότητας της παλιάς γενιάς κεφαλαίου για κάθε συντελεστή παραγωγής f
Μεταβλητές ελέγχου (Ροές):	

$L_{j,s}^{new}$	Ζήτηση Εργασίας για την συνάρτηση παραγωγής νέας γενιάς εργοστασίου
$K_{j,s}^{new}$	Ζήτηση Κεφαλαίου για την συνάρτηση παραγωγής νέας γενιάς εργοστασίου
$IR_{f,j,s}^{new}$	Δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη της επιχείρησης j με σκοπό την βελτίωση της παραγωγικότητας του f συντελεστή παραγωγής της νέας γενιάς κεφαλαίου
$AQ_{f,j,s}$	Δείκτης παραγωγικότητας της νέας γενιάς κεφαλαίου για κάθε συντελεστή παραγωγής f

Η current Lagrangian ($\mathcal{L}_{j,s}^c$) του παραπάνω διαχρονικού προβλήματος είναι:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{j,s}^c = & \left[\sum_v pL_{j,s}^v \cdot L_{j,s}^v + pK_{j,s}^{new} \cdot K_{j,s}^{new} + pK_{j,s}^{old} \cdot K_{j,s}^{old} + \sum_f pIR_{f,j,s} \cdot IR_{f,j,s}^{new} \right] \\ & + \sum_f \lambda_{f,j,s} \cdot G_f \left(AQ_{f,j,s}, \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}} \right) + \eta_{j,r,s} \cdot [K_{j,s}^{new} - \delta_{j,s} \cdot K_{j,s}^{old}] + \mu_{j,s}^{new} \\ & \cdot [X_{j,s}^{new} - CES_j^{new}(F_{f,j,s}^{new} \cdot AQ_{f,j,s}; \theta_{f,j,s}^{new,f}; \sigma_{f,j,s}^{new})] + \mu_{j,s}^{old} \\ & \cdot [X_{j,s}^{old} - CES_j^{old}(F_{f,j,s}^{old} \cdot Q_{f,j,s}; \theta_{f,j,s}^{old,f}; \sigma_{f,j,s}^{old})] + v_{j,s} \cdot [X_{j,s}^{old} + X_{j,s}^{new} - DEM_{j,s}] \end{aligned}$$

Οι συνθήκες πρώτης τάξης για τη βελτιστοποίηση της συνάρτησης current Lagrange, σε σχέση με τις μεταβλητές ελέγχου είναι:

$$I. \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial K_{j,s}^{new}} = 0$$

$$pK_{j,s}^{new} + \lambda_{K,j,s} \cdot \frac{\partial G_K \left(AQ_{K,j,s}, \frac{IR_{K,j,s}^{new}}{K_{j,s}^{new}} \right)}{\partial K_{j,s}^{new}} + \eta_{j,r} - \mu_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial CE_j^{new}(F_{f,j,s}^{new} \cdot AQ_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{new,f}; \sigma_{j,s}^{new})}{\partial K_{j,s}^{new}} = 0$$

$$II. \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial L_{j,s}^{new}} = 0$$

$$pL_{j,s}^{new} + \lambda_{L,j,s} \cdot \frac{\partial G_L \left(AQ_{L,j,s}, \frac{IR_{L,j,s}^{new}}{L_{j,s}^{new}} \right)}{\partial L_{j,s}^{new}} - \mu_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial CES_j^{new}(F_{f,j,s}^{new} \cdot AQ_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{new,f}; \sigma_{j,s}^{new})}{\partial L_{j,s}^{new}} = 0$$

$$III. \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial IR_{f,j,s}^{new}} = 0$$

$$pIRDV_{f,j,s} + \lambda_{f,j,s} \cdot \frac{\partial G_f \left(AQ_{f,j,s}, \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}} \right)}{\partial IR_{f,j,s}^{new}} = 0$$

$$IV. \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial AQ_{K,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{K,j,s}$$

$$\begin{aligned} & \tilde{\lambda}_{K,j,s} \cdot \frac{\partial G_K \left(AQ_{K,j,s}, \frac{IR_{K,j,s}^{new}}{K_{j,s}^{new}} \right)}{\partial AQ_{K,j,s}} - \tilde{\mu}_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial CES_j^{new} (F_{f,j,s}^{new} \cdot AQ_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{new,f}; \sigma_{j,s}^{new})}{\partial AQ_{K,j,r,s}} = -\tilde{\lambda}_{K,j,s} \cdot \dot{} \\ \text{V.} \quad & \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial AQ_{L,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot \dot{} \\ & \tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot \frac{\partial G_L \left(AQ_{L,j,s}, \frac{IR_{L,j,s}^{new}}{L_{j,s}^{new}} \right)}{\partial AQ_{f,j,r,s}} - \tilde{\mu}_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial CES_j^{new} (F_{f,j,s}^{new} \cdot AQ_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{new,f}; \sigma_{j,s}^{new})}{\partial AQ_{L,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot \dot{} \\ \text{VI.} \quad & \mathcal{L}_{j,s} = \mathcal{L}_{j,s}^c \cdot e^{-r_s \cdot (s-t)} \end{aligned}$$

$$\tilde{\lambda}_{K,j,s} = \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-r_s \cdot s}$$

Οπότε:

$$\tilde{\lambda}_{K,j,s} \cdot \dot{} = \lambda_{K,j,s} \cdot \dot{} \cdot e^{-r_s \cdot s} - r_s \cdot \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-r_s \cdot s}$$

Και

$$\tilde{\lambda}_{L,j,s} = \lambda_{L,j,s} \cdot e^{-r_s \cdot s}$$

Οπότε:

$$\tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot \dot{} = \lambda_{L,j,s} \cdot \dot{} \cdot e^{-r_s \cdot s} - r_s \cdot \lambda_{L,j,s} \cdot e^{-r_s \cdot s}$$

Και

$$\tilde{\mu}_{j,s}^{new} = \mu_{j,s}^{new} \cdot e^{-r_s \cdot s}$$

$$\text{VII.} \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial K_{j,s}^{old}} = 0$$

$$pK_{j,s}^{old} - \delta_{j,s} \cdot \eta_{j,s} - \mu_{j,s}^{old} \cdot \frac{\partial CES_j^{old} (F_{f,j,s}^{old} \cdot Q_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{old,f}; \sigma_{j,s}^{old})}{\partial K_{j,s}^{old}} = 0$$

$$\text{VIII.} \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial L_{j,s}^{old}} = 0$$

$$pL_{j,s}^{old} - \mu_{j,s}^{old} \cdot \frac{\partial CES_j^{old} (F_{f,j,s}^{old} \cdot Q_{f,j,s}; \theta_{j,s}^{old,f}; \sigma_{j,s}^{old})}{\partial L_{j,s}^{old}} = 0$$

$$\text{IX.} \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial \lambda_{f,j,s}} = 0$$

$$AQ_{f,j,s} = G_f \left(AQ_{f,j,r,s}, \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}} \right)$$

Υποθέτουμε ότι το δεξί μέλος της διαφορικής εξίσωσης που συνδέει την δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη με την βελτίωση της τεχνολογικής μεταβολής έχει την ακόλουθη μορφή:

$$G_f \left(AQ_{f,j,s}, \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}} \right) = \alpha_{f,j,s} \cdot (AQ_{f,j,s})^{-b_{f,j}} \cdot \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}}$$

Θέτουμε: $C_{f,j,s}^{new} = \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s}^{new}}$

I. $\frac{\partial L_{f,j,s}^c}{\partial K_{j,s}^{new}} = 0$

Αφού: $\frac{\partial (CES_{j,s}^{new})}{\partial K_{j,s}^{new}} = X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{AQ_{K,j,s}}{K_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{(X_{j,s}^{new}/X_{j,t}^{new})}{(K_{j,s}^{new}/K_{j,t}^{new}) \cdot AQ_{K,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}}$

Έχουμε:

$$pK_{j,s}^{new} + pIR_{K,j,s} \cdot C_{K,j,s}^{new} + \eta_{j,s} - \mu_{j,s}^{new} \cdot X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{AQ_{K,j,s}}{K_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{(X_{j,s}^{new}/X_{j,t}^{new})}{(K_{j,s}^{new}/K_{j,t}^{new}) \cdot AQ_{K,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}} = 0$$

Ή

$$K_{j,s}^{new} = K_{j,t}^{new} \cdot \frac{(X_{j,s}^{new}/X_{j,t}^{new})}{AQ_{K,j,s}} \cdot \left(\frac{\mu_{j,s}^{new} \cdot X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{AQ_{K,j,s}}{K_{j,t}^{new}}}{pK_{j,s}^{new} + pIR_{K,j,s} \cdot C_{K,j,s}^{new} + \eta_{j,s}} \right)^{\sigma_4^{new}}$$

$$K_{j,s}^{new} = K_{j,t}^{new} \cdot \frac{(X_{j,s}^{new}/X_{j,t}^{new})}{AQ_{K,j,s}} \cdot \left(X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{AQ_{K,j,s}}{K_{j,t}^{new}} \right)^{\sigma_4^{new}} \cdot \left(\frac{\mu_{j,s}^{new}}{pK_{j,s}^{new} + pIR_{K,j,s} \cdot C_{K,j,s}^{new} + \eta_{j,s}} \right)^{\sigma_4^{new}}$$

Οπότε η συνάρτηση ζήτησης για κεφάλαιο νέας γενιάς είναι:

$$K_{j,s}^{new} = K_{j,t}^{new} \cdot \left(X_{j,s}^{new}/X_{j,t}^{new} \right) \cdot (AQ_{K,j,s})^{\sigma_4^{new}-1} \cdot \left(\frac{\frac{\mu_{j,s}^{new}}{pX_{j,t}^{new}}}{\frac{pK_{j,s}^{new}}{pK_{j,t}^{new}} + \frac{pIR_{K,j,s} \cdot C_{K,j,s}^{new}}{pK_{j,t}^{new}} + \frac{\eta_{j,s}}{pK_{j,t}^{new}}} \right)^{\sigma_4^{new}}$$

Απλοποιώντας ακόμα περισσότερο το πρόβλημα, υποθέτουμε ότι η απόφαση για επένδυση γίνεται σε ξεχωριστό πρόβλημα βελτιστοποίησης οπότε $\eta_{j,r,s} = 0$. Επίσης η δυική τιμή $\mu_{j,s}^{new}$ είναι η τιμή του όγκου $X_{j,s}^{new}$. Οπότε η συνάρτηση ζήτησης για νέο κεφάλαιο είναι η ακόλουθη:

$$K_{j,s}^{new} = K_{j,t}^{new} \cdot \left(\frac{X_{j,r,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}} \right) \cdot (AQ_{K,j,s})^{\sigma_4^{new}-1} \cdot \left(\frac{\frac{pX_{j,s}^{new}}{pX_{j,t}^{new}}}{\frac{pK_{j,s}^{new}}{pK_{j,t}^{new}} + \frac{pIR_{K,j,s} \cdot C_{K,j,s}^{new}}{pK_{j,t}^{new}}} \right)^{\sigma_4^{new}} \quad (4.5)$$

$$\text{II. } \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial L_{j,t}^{new}} = 0$$

Αντίστοιχα η συνάρτηση ζήτησης για εργασία είναι:

$$L_{j,s}^{new} = L_{j,t}^{new} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}} \right) \cdot (AQ_{L,j,s})^{\sigma_4^{new}-1} \cdot \left(\frac{\frac{pX_{j,s}^{new}}{pX_{j,t}^{new}}}{\frac{pL_{j,s}^{new}}{pL_{j,t}^{new}} + \frac{pIR_{L,j,s} \cdot C_{L,j,s}^{new}}{pL_{j,t}^{new}}} \right)^{\sigma_4^{new}} \quad (4.6)$$

$$\text{III. } \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial C_{f,j,s}^{new}} = 0$$

$$pIR_{K,j,s} \cdot K_{j,s}^{new} + \lambda_{K,j,s} \cdot a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}} = 0$$

Οπότε

$$\lambda_{K,j,s} = -\frac{pIR_{KA,j,s} \cdot K_{j,s}^{new}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{KA,j,s})^{-b_{K,j}}} = -\frac{pIR_{K,j,s} \cdot IR_{K,j,s}^{new}}{AQ_{K,j,s}} \quad (4.7)$$

και

$$pIR_{L,j,s} \cdot L_{j,s}^{new} + \lambda_{L,j,s} \cdot a_{L,j,s} \cdot (AQ_{L,j,s})^{-b_{L,j}} = 0$$

Οπότε

$$\lambda_{L,j,s} = -\frac{pIR_{L,j,s} \cdot L_{j,s}^{new}}{a_{L,j,s} \cdot (AQ_{L,j,s})^{-b_{L,j}}} = -\frac{pIR_{L,j,s} \cdot IR_{L,j,s}^{new}}{AQ_{L,j,s}} \quad (4.8)$$

$$\text{IV. } \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial AQ_{K,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{K,j,s}$$

$$\text{Αφού: } \frac{\partial (X_{j,s}^{new})}{\partial AQ_{KA,j,s}} = X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{\left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}} \right)}{\left(\frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}} \right) \cdot AQ_{K,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}}$$

Έχουμε:

$$-\tilde{\lambda}_{K,j,s} \cdot b_{K,j} \cdot a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}-1} \cdot C_{K,j,s}^{new} - \tilde{\mu}_{j,s}^{new} \cdot X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,K} \cdot \frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{new} / X_{j,t}^{new}}{(K_{j,s}^{new} / K_{j,t}^{new}) \cdot AQ_{K,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}} = -\tilde{\lambda}_{K,j,s}$$

Η διαφορική:

$$-\tilde{\lambda}_{K,j,s} \cdot b_{K,j} \cdot \frac{\dot{A}Q_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} - \dot{\tilde{\mu}}_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{K,j,s} \quad (4.9)$$

$$V. \quad \frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial AQ_{L,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{L,j,s}$$

Ομοίως

$$-\tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot b_{L,j} \cdot \frac{\dot{A}Q_{L,j,s}}{AQ_{L,j,s}} - \dot{\tilde{\mu}}_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{L,j,s}} = -\tilde{\lambda}_{L,j,s} \quad (4.10)$$

όπου

$$\frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{L,j,s}} = X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,L} \cdot \frac{L_{j,s}^{new}}{L_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{new} / X_{j,t}^{new}}{(L_{j,s}^{new} / L_{j,t}^{new}) \cdot AQ_{L,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}}$$

Η

$$-\tilde{\lambda}_{L,j,s} \cdot b_{L,j} \cdot a_{L,j,s} \cdot (AQ_{L,j,s})^{-b_{L,j}-1} \cdot C_{L,j,s}^{new} - \tilde{\mu}_{j,s}^{new} \cdot X_{j,t}^{new} \cdot \theta_{j,s}^{new,L} \cdot \frac{L_{j,s}^{new}}{L_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{new} / X_{j,t}^{new}}{(L_{j,s}^{new} / L_{j,t}^{new}) \cdot AQ_{L,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}} = -\tilde{\lambda}_{L,j,s}$$

$$VI. \quad \mathcal{L}_{j,s} = \mathcal{L}_{j,s}^c \cdot e^{-r \cdot s \cdot (s-t)}$$

$$\tilde{\lambda}_{K,j,s} = \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-r \cdot l_s \cdot (s-t)} \quad (4.11)$$

Οπότε:

$$\dot{\tilde{\lambda}}_{K,j,s} = \dot{\lambda}_{K,j,s} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} - rl_s \cdot \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} \quad (4.12)$$

Και

$$\tilde{\lambda}_{L,j,s} = \lambda_{L,j,s} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} \quad (4.13)$$

Οπότε:

$$\dot{\tilde{\lambda}}_{L,j,s} = \dot{\lambda}_{L,j,s} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} - rl_s \cdot \lambda_{L,j,s} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} \quad (4.14)$$

Και

$$\tilde{\mu}_{j,s}^{new} = \mu_{j,s}^{new} \cdot e^{-rl_s \cdot (s-t)} \quad (4.15)$$

VII. $\frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial K_{j,s}^{old}} = 0$

$$pK_{j,s}^{old} - \delta_{j,s} \cdot \eta_{j,s} - \mu_{j,s}^{old} \cdot \frac{\partial CES_{j,s}^{old}(\cdot)}{\partial K_{j,s}^{old}} = 0$$

Η συνάρτηση ζήτησης για κεφάλαιο (παλαιάς γενιάς) είναι:

$$K_{j,s}^{old} = K_{j,t}^{old} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{old}}{X_{j,t}^{old}} \right) \cdot (Q_{K,j,s})^{\sigma_4^{old}-1} \cdot \left(\frac{pX_{j,s}^{old}}{pX_{j,t}^{old}} \right)^{\sigma_4^{old}} \cdot \left(\frac{pK_{j,s}^{old}}{pK_{j,t}^{old}} \right)^{\sigma_4^{old}}$$

VIII. $\frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial L_{j,t}^{old}} = 0$

Αντίστοιχα η συνάρτηση ζήτησης για εργασία (παλαιάς γενιάς) είναι:

$$L_{j,s}^{old} = L_{j,t}^{old} \cdot \left(\frac{X_{j,s}^{old}}{X_{j,t}^{old}} \right) \cdot (Q_{L,j,s})^{\sigma_4^{old}-1} \cdot \left(\frac{pX_{j,s}^{old}}{pX_{j,t}^{old}} \right)^{\sigma_4^{old}} \cdot \left(\frac{pL_{j,s}^{old}}{pL_{j,t}^{old}} \right)^{\sigma_4^{old}}$$

IX. $\frac{\partial \mathcal{L}_{j,s}^c}{\partial \lambda_{f,j,s}} = 0$

$$AQ_{K,j,s} = a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}} \cdot C_{K,j,s}^{new}$$

και

$$AQ_{L,j,s} = a_{L,j,s} \cdot (AQ_{L,j,s})^{-b_{L,j}} \cdot C_{L,j,s}^{new}$$

Η (4.9) λόγω των (4.13), (4.14) και (4.15) γράφεται και πολλαπλασιάζοντας με $e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)}$ έχουμε:

$$\begin{aligned} \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} - \left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right) \cdot \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \\ = \mu_{j,s}^{new} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \end{aligned}$$

Υποθέτουμε ότι βρισκόμαστε σε στάσιμο σημείο οπότε: $\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}, rl_s$ είναι σταθερά. Ολοκληρώνοντας από το s έως το άπειρο έχουμε:

$$\begin{aligned} \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \Big|_{\infty} - \lambda_{K,j,s} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \Big|_s \\ = \int_s^{\infty} \mu_{j,s}^{new} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \cdot ds \end{aligned}$$

Ο πρώτος όρος είναι μηδέν αφού ο εκθέτης είναι πάντα αρνητικός αριθμός και από την (4.7) έχουμε:

$$\frac{pIR_{K,j,s} \cdot K_{j,s}^{new}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} = \int_s^{\infty} e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \cdot pX_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \cdot ds$$

Για την εξαγωγή μιας εμπειρικής συνάρτησης ζήτησης για Ε&Α θεωρούμε ότι στο στάσιμο σημείο ισχύει $pX_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial A_{K,j,s}}$ είναι σταθερό και ότι οι τιμές δεν αλλάζουν, οπότε:

$$\frac{pIR_{K,j,s} \cdot K_{j,s}^{new}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} = pX_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \cdot \int_s^{\infty} e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \cdot ds$$

Οπότε έχουμε:

$$\begin{aligned} \frac{pIR_{K,j,s} \cdot K_{j,s}^{new}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} \cdot e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)} \\ = pX_{j,s}^{new} \cdot \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \cdot \left(\frac{e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)}}{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right)} \Big|_{\infty} - \frac{e^{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}}+rl_s\right) \cdot (s-t)}}{-\left(\frac{AQ_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right)} \Big|_s \right) \end{aligned}$$

Οπότε:

$$\frac{pIR_{K,j,s} \cdot K_{j,s}^{new}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} = \frac{\partial(CES_{j,s}^{new}(\cdot))}{\partial AQ_{K,j,s}} \cdot \frac{pX_{j,s}^{new}}{\left(\frac{\dot{A}Q_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right)}$$

Οπότε:

$$\frac{pIR_{K,j,s}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} = \frac{pK_{j,t}^{new}}{pX_{j,t}^{new}} \cdot \left(\frac{\left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}}\right)}{\left(\frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}}\right) \cdot AQ_{K,j,s}} \right)^{\frac{1}{\sigma_4^{new}}} \cdot \frac{pX_{j,s}^{new}}{\left(\frac{\dot{A}Q_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right)}$$

Ή διαφορετικά:

$$\left(\frac{\frac{pIR_{K,j,s}}{pK_{j,t}^{new}}}{a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}} \cdot \left(\frac{\dot{A}Q_{K,j,s}}{AQ_{K,j,s}} + rl_s\right) \right)^{\sigma_4^{new}} = \frac{\left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}}\right)}{\left(\frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}}\right) \cdot AQ_{K,j,s}}$$

Η ζήτηση για τεχνολογική μεταβολή είναι:

$$AI_{K,j,s} = \frac{\left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}}\right)}{\left(\frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}}\right)} \cdot \left(\frac{\frac{pX_{j,s}^{new}}{pX_{j,t}^{new}} \cdot a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}}}{\frac{pIR_{K,j,s}}{pK_{j,t}^{new}} \cdot (rl_s + b_{K,j} \cdot a_{K,j,s} \cdot (AQ_{K,j,s})^{-b_{K,j}-1} \cdot C_{K,j,s}^{new})} \right)^{\sigma_4^{new}} \quad (4.16)$$

Ομοίως για όλους τους συντελεστές παραγωγής.

Για την εισαγωγή της συνάρτησης ζήτησης στο μοντέλο GEME3-RD διακριτοποιούμε την συνάρτηση ζήτησης για τεχνολογική μεταβολή και την διαφορική εξίσωση του συνδέει την τεχνολογική μεταβολή με την ζήτηση για Ε&Α. Στο μοντέλο GEME3-RD έχουμε δύο συναρτήσεις ζήτησης, την εκ των προτέρων (ex ante) και την εκ των υστέρων (ex-post). Το μοντέλο λύνει χρονιά χρονιά χρησιμοποιώντας τις ex-post συναρτήσεις ζήτησης με δεδομένη τεχνολογική πρόοδο. Ενώ, τις συναρτήσεις ex-ante τις χρησιμοποιεί για να υπολογίσει την ζήτηση για Ε&Α η οποία επηρεάζει την παραγωγικότητα της επόμενης περιόδου. Έτσι υποθέτουμε, ότι ο δείκτης τεχνολογικής μεταβολής για κάθε συντελεστή παραγωγής αλλάζει δυναμικά με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{f,j,s+1} = \frac{KS_{j,s} \cdot (1 - \delta_{j,s})}{KS_{j,s} \cdot (1 - \delta_{j,s}) + IN_{j,s}} \cdot Q_{f,j,s} + \frac{IN_{j,s}}{KS_{j,s} \cdot (1 - \delta_{j,s}) + IN_{j,s}} \cdot AQ_{f,j,s} \quad (4.17)$$

Υποθέτοντας ότι η μεταβολή της αναμενόμενης ζήτησης είναι ίση με $stgr_{j,r,s}$ τότε ο όγκος του κάθε συντελεστή παραγωγής για την επόμενη περίοδο μπορεί να προσομοιωθεί με $F_{f,j,s}^{new} = F_{f,j,s} \cdot (stgr_{j,s} + \delta_{j,s})$, και $a_{f,j,s} = a_{f,j} \cdot PEQ_{f,j,s}$ όπου

$PEQ_{f,j,r,s}$ είναι δείκτης της διάχυσης της γνώσης (spillovers) και $alpha_{f,j,r}$ είναι παράμετρος στην οποία προσαρμόζουμε τα δεδομένα:

$$AQ_{K,j,s} = \frac{\left(\frac{X_{j,s}^{new}}{X_{j,t}^{new}}\right)}{\left(\frac{K_{j,s}^{new}}{K_{j,t}^{new}}\right)} \cdot \left(\frac{\frac{pKI_{j,r,s}^{new}}{pKI_{j,r,t}^{new}} \cdot alpha_{KA,j,r} \cdot PEQ_{KA,j,r,s} \cdot (QFI_{KA,j,r,s-1})^{-beta_{KA,j,r}}}{\frac{pIR_{K,j,s}}{pK_{j,t}^{new}} \cdot (rl_s + rp_{KA,j,s})}\right)^{\sigma_4^{new}} \quad (4.18)$$

Ο όρος $rp_{KA,j,s} = b_{K,j} \cdot a_{K,j} \cdot PEQ_{K,j,s} \cdot (Q_{K,j,s-1})^{-b_{K,j}-1} \cdot \frac{IR_{K,j,s}^{new}}{K_{j,s} \cdot (stgr_{j,s} + \delta_{j,s})}$ είναι το risk premium. Ομοίως και για τους υπόλοιπους συντελεστές παραγωγής.

Διακριτοποιώντας τις διαφορικές εξισώσεις έχουμε:

$$\frac{AQ_{f,j,s} - Q_{f,j,s}}{Q_{f,j,s}} = a_{K,j} \cdot PEQ_{K,j,s} \cdot (Q_{f,j,s})^{-b_{f,j}} \cdot \frac{IR_{f,j,s}^{new}}{F_{f,j,s} \cdot (stgr_{j,s} + \delta_{j,s})} \quad (4.19)$$

Η ζήτηση για Ε&Α για κάθε συντελεστή παραγωγής προσδιορίζεται από την λύση των εξισώσεων (4.18) και (4.19).

4.6. Δημόσιες Επενδύσεις σε Έρευνα και Ανάπτυξη

Στο μοντέλο GEMEZ-RD υπάρχει διάκριση μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη. Ο φόβος αποτυχίας εξαιτίας της διάχυσης της γνώσης μειώνει τις δαπάνες για Ε&Α των επιχειρήσεων (Jaffe, Newell, and Stavins 2005). Η συγχρηματοδότηση της δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη με το δημόσιο, σε πολλές περιπτώσεις, είναι απαραίτητη για να ενισχύσει την προσπάθεια των επιχειρήσεων, μειώνοντας την πιθανότητα αποτυχίας. Παράλληλα, η δημόσια χρηματοδότηση σε βασική Έρευνα μπορεί να ωθήσει την τεχνολογική πρόοδο σε υψηλότερο επίπεδο. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της δημόσιας Ε&Α στην παραγωγικότητα είναι εύκολο να μετρηθούν, είτε επειδή είναι έμμεσα, είτε επειδή τα αποτελέσματά της δεν υπολογίζονται στην μέτρηση του ΑΕΠ. Στην βιβλιογραφία μπορούμε να δούμε τρόπους μέτρησης της δημόσιας Ε&Α. Ο (Adams 1990) διαπίστωσε, ότι το απόθεμα της γνώσης, το οποίο προσεγγίζεται από τις συσσωρευμένες ακαδημαϊκές επιστημονικές εργασίες, συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της παραγωγικότητας των βιομηχανιών μεταποίησης των ΗΠΑ. Επίσης, οι (Nadiri and Mamuneas 1994), βρίσκουν ότι το απόθεμα των δημόσιων δαπανών σε Ε&Α μαζί με τις δημόσιες υποδομές, ήταν καθοριστικός παράγοντας για την μείωση του κόστους των δραστηριοτήτων μεταποίησης των ΗΠΑ. Τα αποτελέσματά τους

δείχνουν, ότι η δημόσια E&A έχει σημαντικές επιπτώσεις και συνδέεται με ένα σημαντικό κοινωνικό συντελεστή απόδοσης.

Στο μοντέλο υπάρχουν τρεις επιλογές, στις οποίες μπορεί το κράτος να χρηματοδοτήσει την Έρευνα και Ανάπτυξη:

- 1) Επιδοτώντας ένα ποσοστό του κόστους της E&A κάθε επιχείρησης (συγχρηματοδότηση). Σε αυτή την περίπτωση, η επιχείρηση δεν μπορεί να λάβει χρηματοδότηση αν δεν δαπανήσει σε E&A.
- 2) Χρηματοδοτώντας τα Πανεπιστήμια/Ερευνητικά κέντρα. Εδώ το όφελος είναι άμεσο σε όλες τις επιχειρήσεις, αφού μειώνεται το κόστος της Έρευνας σε όλη την οικονομία. Ενώ στην προηγούμενη περίπτωση ήταν προσανατολισμένη στους τομείς αλλά και σε διαδικασίες παραγωγής που θέλει να ενισχύσει (για παράδειγμα εξοικονόμηση ενέργειας).
- 3) Ενισχύοντας την βασική Έρευνα στα Πανεπιστήμια και Ερευνητικά κέντρα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει υστέρηση μιας πενταετίας στην γνώση που αποκομίζει ο κάθε τομέας της οικονομίας, αλλά η γνώση είναι δημόσια και διαχέεται όχι μόνο εντός του τομέα και εντός της χώρας αλλά και σε άλλους τομείς και σε άλλες χώρες.

Και στις τρεις περιπτώσεις η γνώση που αποκτάται από την Δαπάνη για Έρευνα και Ανάπτυξη διαχέεται γενικότερα στην οικονομία, η διαφορά είναι στο είδος της γνώσης και στην ταχύτητα διάδοσης.

4.7. Συσσώρευση και απαξίωση της γνώσης

Στο μοντέλο GEME3-RD, η γνώση χωρίζεται σε έξι κατηγορίες (εξειδικευμένη γνώση πάνω στην βελτίωση της παραγωγικότητας του Κεφαλαίου, Εργασίας, Ηλεκτρισμού, Καυσίμων, Υλικών και άλλων και συνολικής παραγωγικότητας³⁴) για κάθε συντελεστή παραγωγής, αυτές με την σειρά τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες αυτές που προήλθαν από τον ίδιο τομέα της ίδιας χώρας και σε αυτό που προήλθαν μέσω διάδοσης της γνώσης είτε από άλλους τομείς είτε από άλλες χώρες. Έτσι, για κάθε συντελεστή παραγωγής έχουμε την «Γνώση του τομέα», που αποκτήθηκε από δαπάνες του τομέα σε E&A και την «Συνολική γνώση του τομέα», η οποία είναι αποτέλεσμα των δαπανών του τομέα και της «Γνώσης που διαχέεται στον τομέα».

³⁴ Για την γνώση και την διάχυση της γνώσης στους τομείς που έχουν μόνο συνολική παραγωγικότητα έχουμε αναφερθεί αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο (Κλάδοι προηγμένων προϊόντων τεχνολογίας, 4.3)

Ως μέτρο της γνώσης έχουμε τις συσσωρευτικές δαπάνες για Ε&Α του τομέα της χώρας/περιοχής λαμβάνοντας υπόψη ένα ποσοστό απαξίωσης της γνώσης. Με αυτό τον τρόπο καθορίζουμε το «Απόθεμα της γνώσης του τομέα», το οποίο χρησιμοποιούμε ως μέτρο για την «Γνώση του τομέα». Ο συντελεστής, που καθορίζει το ποσοστό απαξίωσης της γνώσης του τομέα, είναι ιδιαίτερα σημαντικός, γιατί μας δείχνει τον ρυθμό που η γνώση απαξιώνεται στην περίπτωση που δε γίνονται καθόλου δαπάνες σε Ε&Α. Οι συντελεστές απαξίωσης της γνώσης τείνουν να είναι υψηλότεροι στις περιπτώσεις των ταχέως μεταβαλλόμενων τεχνολογιών και των τομέων, που η γνώση είναι υψηλά εξαρτώμενη από το εργατικό δυναμικό της (συνεπώς απώλεια σε εργατικό δυναμικό συνεπάγεται «απώλεια» σε γνώση).

Πίνακας 4-8: Ποσοστά απαξίωσης της γνώσης στους τομείς δραστηριότητας του μοντέλου GEME3-RD

Αρ.	Τομέας	δ _{RD}	Αρ.	Τομέας	δ _{RD}
01	Λοιπή γεωργία και κτηνοτροφία	30%	20	Παραγωγή Αιθανόλης	7%
02	Σιτάρι, δημητριακά, ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα	30%	21	Παραγωγή βιοντήζελ	7%
03	Ελαιούχοι σπόροι	30%	22	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα	30%
04	Άνθρακας, λιγνίτης	30%	23	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση πετρελαίου	30%
05	Αργό πετρέλαιο Παραγωγή	30%	24	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση αερίου	30%
06	Πετρέλαιο – Διυλιστήρια	30%	25	Ηλεκτροπαραγωγή με πυρηνική ενέργεια	30%
07	Φυσικό Αέριο	30%	26	Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα	30%
08	Ηλεκτρισμός	30%	27	Υδροηλεκτρική παραγωγή	30%
09	Σιδηρούχα & Μη-σιδηρούχα μέταλλα	30%	28	Παραγωγή αιολικής ενέργειας	30%
10	Χημικά Προϊόντα	18%	29	Παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά	30%
11	Λοιπές ενεργοβόρες βιομηχανίες	30%	30	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO ₂ σε σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα	30%
12	Ηλεκτρικές συσκευές	30%	31	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO ₂ σε σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με Φυσικό Αέριο	30%
13	Εξοπλισμός Μεταφορών	30%	32	Υπηρεσίες Ε&Α	50%
14	Λοιπά αγαθά εξοπλισμού	30%	33	Κατασκευή εξοπλισμού Αιολικής Ενέργειας	7%
15	Βιομηχανίες καταναλωτικών αγαθών	30%	34	Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	10%
16	Κατασκευές	30%	35	Κατασκευή εξοπλισμού CCS	9%

17	Μεταφορές	30%	36	Κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων	8%
18	Υπηρεσίες Αγορών	40%	37	Παραγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας σε οικιακές συσκευές ενέργειας	7%
19	Μη εμπορεύσιμες υπηρεσίες	30%	38	Κατοικίες	12%

Οι (Watanabe et al. 2002) κατασκεύασαν ένα μοντέλο για την βιομηχανία των φωτοβολταϊκών (PV) στην Ιαπωνία, το οποίο περιλάμβανε τις ιδιωτικές δαπάνες σε E&A και την διάχυση της γνώσης από άλλες επιχειρήσεις. Υπολόγισαν ένα μέσο συντελεστή απαξίωσης της γνώσης για την τεχνολογία των PV περίπου 30% ετησίως. Αυτό σημαίνει, ότι χωρίς συνεχείς δαπάνες σε E&A, το σημερινό «απόθεμα της γνώσης του τομέα» των PV μειώνεται στο 17% μετά από 5 χρόνια (δηλαδή μείωση κατά 83% σε σχέση με το αρχικό του επίπεδο) και σε λιγότερο από 3% μετά από 10 χρόνια. Ο (Nemet 2009) παρέχει μια εικόνα για τη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας των ΗΠΑ, αναλύοντας τις δημοφιλείς αναφορές (highly cited) σε διπλώματα ευρεσιτεχνίας και υπολογίζει ένα ποσοστό απαξίωσης της γνώσης 10%. Οι (Grubler and Nemet 2012) εξέτασαν σε βάθος το θέμα της απαξίωσης της γνώσης, τα ποσοστά απαξίωσης της γνώσης που υπολόγισαν κυμαίνονται από 5% έως και πάνω από 60%.

Οι ρυθμοί απαξίωσης της «Γνώσης του τομέα» στο μοντέλο GEME3-RD δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα και ακολουθούν την παραπάνω βιβλιογραφία και είναι ίδιοι για όλες τις χώρες και τις έξι κατηγορίες γνώσης. Η «Γνώση του τομέα» ($RD_{f,j,r,s}$) δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$RD_{f,j,r,s} = RD_{j,r,s-T} \cdot (1 - declRD_j)^T + \frac{1 - (1 - declRD_j)^T}{declRD_j} \cdot IR_{f,j,r,s} \quad (4.20)$$

Όπου T η περίοδος κατά την οποία λύνει το μοντέλο (πέντε χρόνια) και $declRD_j$ η απαξίωση της γνώσης.

4.8. Μοντελοποίηση των δευτερογενών επιδράσεων της Έρευνας και Ανάπτυξης

Η σημασία της μοντελοποίησης της διάχυσης της γνώσης έγκειται στο γεγονός, ότι μαζί με τη συσσώρευση της γνώσης αποτελεί μια από τις πιο βασικές μεταβλητές στην θεωρία της ενδογενούς ανάπτυξης. Η διάδοση της γνώσης δεν εξασφαλίζει άμεση βελτίωση της παραγωγικότητας του τομέα, αλλά η δράση της είναι έμμεση, αφού επηρεάζει την παραγωγικότητα της διαδικασίας της E&A.

Στο μοντέλο GEME3-RD υπάρχουν 4 είδη διάχυσης της γνώσης:

- 1) Η γνώση που μεταφέρεται στην επιχείρηση από μία άλλη εντός του κλάδου της και εντός της χώρας/περιοχής.
- 2) Η γνώση που μεταφέρεται στην επιχείρηση από μια άλλη επιχείρηση άλλου κλάδου αλλά εντός χώρας/περιοχής.
- 3) Η γνώση που μεταφέρεται στην επιχείρηση από μία άλλη εντός του κλάδου της αλλά από το εξωτερικό (εκτός της χώρας/περιοχής).
- 4) Η γνώση που μεταφέρεται στην επιχείρηση από μια άλλη επιχείρηση άλλου κλάδου και εκτός της χώρας/περιοχής.

Στο σύνολό τους, τα παραπάνω είδη γνώσης αποτελούν τη «Συνολική γνώση του τομέα». Η τεχνολογική προσέγγιση που έχει μοντελοποιηθεί στο GEME3-RD βασίζεται στην χρήση των πινάκων διάχυσης των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Ο (Verspagen 1997) εισήγαγε τους πίνακες διάχυσης, όπου η κατασκευή τους βασίστηκε στις αναφορές των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Αυτή η μεθοδολογία είναι ευρέως διαδεδομένη σε διάφορες εμπειρικές μελέτες (Dechezleprêtre, Martin, and Mohnen 2014; Jaffe 1986; Jaffe and Trajtenberg 1999; Keller 2004; Verspagen and De Loo 1999).

Οι δευτερογενείς επιδράσεις της E&A αναπαριστώνται στο μοντέλο GEME3-RD με την μεταβολή της τιμής της μεταβλητής $PEQ_{f,j,r,s}$ της εξίσωσης (4.19). Η μεταβλητή $PEQ_{f,j,r,s}$ είναι ένας δείκτης της παραγωγικότητας της E&A, ο οποίος εξαρτάται από την «Συνολική Γνώση του τομέα» ($KNOW_{f,j,r,s}$). Ο δείκτης αυτός παραγωγικότητας της διαδικασίας E&A αφορά τις θετικές επιδράσεις, οι αρνητικές επιδράσεις είναι στην μεταβλητή $NEQ_{f,j,r,s} := (QFI_{f,j,r,s})^{beta_{f,jr}}$ και η οποία βρίσκεται στον παρονομαστή της εξίσωσης. Η μεταβολή της μεταβλητής $PEQ_{f,j,r,s}$ είναι γενικά θετική, αφού η συνολική γνώση συσσωρεύεται, εκτός από την ακραία περίπτωση, όπου ο ρυθμός αύξησης της συνολικής δαπάνης στην οικονομία για E&A είναι μικρότερος από τον ρυθμό απαξίωσης της γνώσης. Η σχέση που συνδέει την «θετική επίδραση της Έ&Α» με την «Συνολική γνώση του τομέα» είναι η ακόλουθη:

$$PEQ_{f,j,r,s} = \left(\frac{KNOW_{f,j,r,s}}{KNOW_{f,j,r,0}} \right)^\varphi \quad (4.21)$$

Όπου φ η ελαστικότητα «Συνολικής γνώσης» με την «θετική επίδραση της διαδικασίας E&A».

Κεφάλαιο 5

5. Αναλυτική αναπαράσταση του ενεργειακού τομέα στο GEME3-RD

Ο σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η αναλυτική περιγραφή της μοντελοποίησης της χρήσης και παραγωγής ενέργειας στο μοντέλο GEME3-RD, η οποία υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής. Οι επεκτάσεις αφορούν: 1) τον κλάδο των μεταφορών, 2) την ενέργεια στα νοικοκυριά 3) τα βιοκαύσιμα και την χρήση γης 4) την ηλεκτροπαραγωγή και 5) την εξοικονόμηση ενέργειας.

5.1. Μεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών αναμένεται να έχει κυρίαρχο ρόλο στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι μεταφορές ευθύνονται περίπου για το 30% της συνολικής ενέργειας που σχετίζεται με τις εκπομπές CO₂ στην ΕΕ. Σε περίπτωση ισχυρών πολιτικών απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, ο τομέας των μεταφορών θα πρέπει να υποστεί ριζικές αλλαγές, οι οποίες θα είναι η κινητήριος δύναμη για ταχεία τεχνολογική πρόοδο κυρίως στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στην πλειοψηφία τα μοντέλα που αναπαριστούν τον τομέα των μεταφορών είναι μοντέλα μερικής ισορροπίας (PRIMES-TREMOVE³⁵, POLES³⁶, κ.α.). Τα μοντέλα αυτά, ενώ περιλαμβάνουν πολύ λεπτομερή αναπαράσταση των τεχνολογιών, θεωρούν εξωγενώς όλες τις μακροοικονομικές υποθέσεις. Όπως αναφέρουν οι (Robson and Dixit 2015), τα παραδοσιακά μοντέλα ανάλυσης κόστους-οφέλους για την αξιολόγηση των μεταφορών έχουν δύο βασικές αδυναμίες: α) οι τιμές δίνονται εξωγενώς και β) δεν μπορούν να περιγράψουν την κατανομή των επιπτώσεων. Αντίθετα, τα μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (CGE) είναι κατάλληλα να καλύψουν αυτές τις δύο αδυναμίες, αλλά εξαιτίας του μεγάλου εύρους της οικονομίας που αναπαριστούν δεν μπορούν να είναι τόσο λεπτομερή στην αναπαράσταση του τομέα των μεταφορών (Rutherford and van Nieuwkoop 2011). Υπάρχει αυξανόμενη έρευνα για την ανάπτυξη μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με έμφαση στον κλάδο των μεταφορών. Ο στόχος αυτών των μοντέλων είναι να αναλύσουν τις επιπτώσεις των υποδομών στις μεταβολές του εμπορίου και τις αλλαγές στην παραγωγικότητα και κατά συνέπεια στην οικονομική ανάπτυξη.

³⁵ (P Capros 2013)

³⁶ (Girod et al. 2013)

Παραδείγματα μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με λεπτομερή αναπαράσταση των μεταφορών είναι: (Sakamoto and others 2011), (Rutherford and van Nieuwkoop 2011), (A. Ando and Meng 2009), (McCartney Paul 2013), (Robson and Dixit 2015) και (Van Steenberg, Vandresse, and Mayeres 2011). Παραδείγματα μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με λεπτομερή αναπαράσταση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών στην επιλογή οχήματος είναι του (Berg 2007) και των (Paltsev et al. 2004). Αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για υπολογιζόμενα μοντέλα γενικής ισορροπίας που αναπαριστούν τον τομέα των μεταφορών παρουσιάζεται από τους (Robson and Dixit 2015).

Το μοντέλο GEME3-RD έχει επεκταθεί σημαντικά για να ενσωματώσει με λεπτομέρεια τον τομέα των μεταφορών. Οι επεκτάσεις αφορούν την μοντελοποίηση των επιβατικών μετακινήσεων των νοικοκυριών, των επιβατικών και εμπορευματικών μετακινήσεων των επιχειρήσεων και των διεθνών μεταφορών εμπορευμάτων. Σε κάθε περίπτωση επιλύεται ένα πρόβλημα ισορροπίας προσφοράς - ζήτησης των διαφόρων αγορών όπου το αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό ή/και η αντιπροσωπευτική επιχείρηση ζητούν μεταφορικές υπηρεσίες που συνδέονται με το μεταφορικό μέσο, το σκοπό και την περιοχή ταξιδιού. Η ζήτηση των μεταφορικών υπηρεσιών καλύπτεται από το ίδιο το νοικοκυριό (στην περίπτωση που επιλέξει ιδιωτικό μέσο) ή από έναν πάροχο μεταφορικών υπηρεσιών (στην περίπτωση που επιλέξει μέσα μαζικής μεταφοράς). Υπάρχουν ξεχωριστοί κλάδοι που παρέχουν την υπηρεσία για τις μεταφορές ανά σκοπό (για την κάλυψη επιβατικών χιλιομέτρων, για την κάλυψη των μεταφορών των εμπορευμάτων), ανά μέσο μεταφοράς (αεροπλάνα, τρένα, φορτηγά, λεωφορεία, πλοία) και για μεταφορές εντός και εκτός της χώρας.

Το μοντέλο GEME3-RD χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων του GTAP, η οποία έχει επεκταθεί ώστε να συμπεριλαμβάνει αναλυτικά τις μεταφορές. Η κατηγορία **χερσαίες μεταφορές** της βάσης δεδομένων του GTAP διαχωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες: μεταφορές εμπορευμάτων οδικώς και σιδηροδρομικώς και μεταφορές επιβατών οδικώς και σιδηροδρομικώς. Αντίστοιχα, η κατηγορία **θαλάσσιες μεταφορές** της βάσης δεδομένων του GTAP διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες: μεταφορές εμπορευμάτων και επιβατών. Οι μεταφορές με ιδιωτικά αυτοκίνητα διακρίνονται επιπλέον ανά τύπο αυτοκινήτου. Η επέκταση έχει βασιστεί σε μια συλλογή δεδομένων από διάφορες βάσεις δεδομένων των μεταφορών (EUROSTAT, OECD data, GTAP data), παρέχοντας στοιχεία για τον κύκλο εργασιών ανά τομέα μεταφορών, την δραστηριότητα, τον όγκο μεταφοράς εμπορευμάτων στο διεθνές εμπόριο, τις τιμές και τα περιθώρια κέρδους. Η νέα βάση δεδομένων που

δημιουργήθηκε επεκτείνει τον πίνακα εισροών εκροών, διεθνών μεταφορών και κατανάλωσης.

Το πλαίσιο μοντελοποίησης έχει σχεδιαστεί ούτως ώστε να αναλύει τις οικονομικές επιπτώσεις του μετασχηματισμού στον τομέα των μεταφορών μέσω πολλαπλών καναλιών: είτε άμεσα μέσω των επενδύσεων σε υποδομές, την αγορά οχημάτων και καυσίμων νέας τεχνολογίας, το κόστος απόκτησης μεταφορικών υπηρεσιών, κ.λπ., είτε έμμεσα, μέσω αλλαγών στη δραστηριότητα σε όλους τους τομείς, το εξωτερικό εμπόριο, την κατανάλωση, την εργασία και τις αγορές κεφαλαίων, συμπεριλαμβανομένων και των ενδεχόμενων αποτελεσμάτων παραγκωνισμού λόγω του υψηλού κόστους των μεταφορών.

5.1.1. Επιβατικές μετακινήσεις των νοικοκυριών

Περισσότερο από 60% των εκπομπών CO₂ που προκύπτουν από τις ενεργειακές χρήσεις των νοικοκυριών προέρχονται από την ιδιωτική χρήση του αυτοκινήτου. Αυτό δείχνει τη σημασία της μοντελοποίησης των μεταφορικών υπηρεσιών που ζητούνται από τα νοικοκυριά σε σενάρια κλιματικής αλλαγής. Το μοντέλο GEME3-RD διακρίνει τρεις κατηγορίες κατανάλωσης επιβατικών χιλιομέτρων (επιβατοχιλιόμετρα) ανάλογα με το σκοπό των ταξιδιών που πραγματοποιούνται:

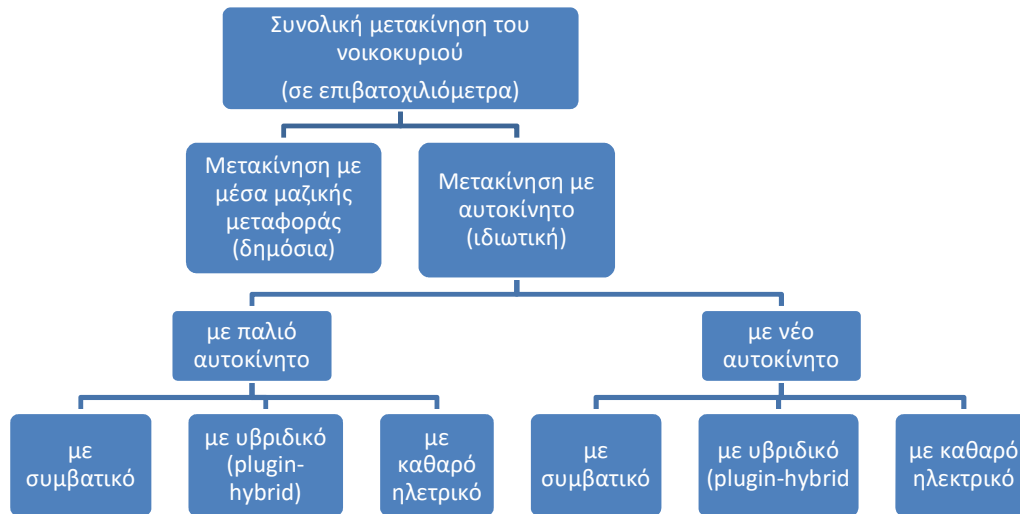
- Τα επιβατοχιλιόμετρα για εργασία
- Τα επιβατοχιλιόμετρα για διακοπές με μέσα μαζικής μεταφοράς
- Τα επιβατοχιλιόμετρα εκτός εργασίας (είτε με το δικό του μέσο, είτε με τα μέσα μαζικής μεταφοράς)

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα επιβατικά χιλιόμετρα που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια εργασίας αποτελούν κόστος της επιχείρησης, συνεπώς δεν συμπεριλαμβάνονται στο πρόβλημα βελτιστοποίησης του νοικοκυριού. Ομοίως και τα επιβατικά χιλιόμετρα που πραγματοποιούνται στις διακοπές, όταν αυτά αποτελούν μέρος ενός πακέτου διακοπών. Σε αυτή την περίπτωση, το κόστος ενσωματώνεται στην τιμή του πακέτου διακοπών και είναι κόστος του ταξιδιωτικού γραφείου που παρέχει αυτή την υπηρεσία. Προκύπτει ότι τα χιλιόμετρα εκτός εργασίας είναι αυτά επί των οποίων γίνεται η βελτιστοποίηση για την ικανοποίησή τους από το αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό (αντιπροσωπευτικός καταναλωτής).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, τα νοικοκυριά μεγιστοποιούν την συνάρτηση χρησιμότητάς τους επιλέγοντας βέλτιστα μεταξύ δώδεκα διαφορετικών κατηγοριών κατανάλωσης (f_{n2} , βλέπε Πίνακας 3-8). Στην παρούσα υποενότητα επικεντρωθήκαμε σε μία εκ των κατηγοριών αυτών, τη μετακίνηση.

Η μοντελοποίηση της ζήτησης των επιβατικών χιλιομέτρων για μετακίνηση των νοικοκυριών έχει γίνει σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, τα νοικοκυριά επιλέγουν το επίπεδο των επιβατικών χιλιομέτρων για μετακίνηση που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση χρησιμότητάς τους, η οποία είναι μια LES, και στο δεύτερο στάδιο επιλέγουν το μέσο με το οποίο θα πραγματοποιήσουν τη μετακίνηση αυτή, αν δηλαδή, θα χρησιμοποιήσουν το δικό τους ή ένα δημόσιο μέσο (μαζικής) μεταφοράς. Το Σχήμα 5-1 απεικονίζει το δέντρο απόφασης των νοικοκυριών για επιβατικά χιλιόμετρα. Η συνάρτηση χρησιμότητας έχει κατασκευαστεί υπό μορφή δέντρου απόφασης, όπου οι επιλογές σε κάθε επίπεδο διέπονται από σχέσεις υποκατάστασης που ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο είναι έχει διαφορετική συναρτησιακή μορφή.

Έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετική μοντελοποίηση ανάλογα με την επιλογή του νοικοκυριού για δημόσιο ή ιδιωτικό μέσο. Η επιλογή δημόσιων μέσων μεταφοράς από τα νοικοκυριά συνεπάγεται την πληρωμή εισιτηρίου για την χρήση τους, δηλαδή στην απόφαση των νοικοκυριών εισάγεται μεταβλητό κόστος σχετιζόμενο με τα επιβατοχιλιόμετρα. Εναλλακτικά, η επιλογή ιδιωτικού μέσου για την κάλυψη των μεταφορικών αναγκών συνεπάγεται μεταβλητό αλλά και σταθερό κόστος. Το σταθερό μέρος του κόστους συνδέεται με την αγορά αυτοκινήτου, ενώ το μεταβλητό μέρος συνδέεται με τις δαπάνες λειτουργίας του αυτοκινήτου (όπως για παράδειγμα το κόστος καυσίμων, οι επισκευές, η ασφάλεια κ.α.). Η υποκατάσταση είναι δυνατή μεταξύ μέσων μαζικής μεταφοράς (δημόσιας) και ιδιωτικής μεταφοράς βάση των σχετικών τιμών (την τιμή του εισιτηρίου και την μέση τιμή της ιδιωτικής μεταφοράς), η οποία όμως δεν είναι τέλεια, αφού οφείλεται σε μια σειρά από περιορισμούς (για παράδειγμα την ποιότητα του δικτύου μέσων μαζικής μεταφοράς, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα ταξίδια απόστασης κ.α.).



Σχήμα 5-1: Δέντρο απόφασης επιβατικών μετακινήσεων του νοικοκυριού

Για την επιλογή ανάμεσα σε ιδιωτική και δημόσια μεταφορά χρησιμοποιήθηκε μία συνάρτηση CES. Το πρόβλημα μεγιστοποίησης της χρησιμότητας του νοικοκυριού σε αυτό το στάδιο είναι το ακόλουθο:

$$\max_{Vehicles_{r,t}, Ticket_{r,t}} Mobility_{r,t} = mobility_{r,0} \cdot \left(\theta_{r,t}^{Vehicles} \cdot \left(\frac{Vehicles_{r,t}}{vehicles_{r,0}} \right)^{\frac{sm_{r,t}-1}{sm_{r,t}}} + \theta_{r,t}^{Ticket} \cdot \left(\frac{Ticket_{r,t}}{ticket_{r,0}} \right)^{\frac{sm_{r,t}-1}{sm_{r,t}}} \right)^{\frac{sm_{r,t}}{sm_{r,t}-1}} \quad (5.1)$$

Υπό τον περιορισμό των χρημάτων που θα δαπανήσει για μεταφορές:

$$pVehicles_t \cdot Vehicles_t + pTicket_{r,t} \cdot Ticket_{r,t} = pMobil_{r,t} \cdot Mobility_{r,t} \quad (5.2)$$

Πίνακας 5-1: Δείκτες, μεταβλητές και παράμετροι του υπομοντέλου των μεταφορών

Δείκτες:	
r	Αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό
t, s	Χρονική περίοδος
Μεταβλητές:	
$Mobility_{r,t}$	Συνολική ζήτηση για επιβατική δραστηριότητα του νοικοκυριού σε (επιβατοχιλιόμετρα- $Gpkm$)

$pMobil_{r,t}$	Γενικευμένη τιμή μεταφοράς του νοικοκυριού σε $\left(\frac{\$}{pkm}\right)$
$Vehicles_{r,t}$	Ζήτηση για επιβατική μεταφορική δραστηριότητα με χρήση ιδιωτικών οχημάτων σε $(Gpkm)$
$Ticket_{r,t}$	Ζήτηση για επιβατική μεταφορική δραστηριότητα με χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς σε $(Gpkm)$
$pVehicles_{r,t}$	Μέση τιμή μεταφοράς του νοικοκυριού με χρήση ιδιωτικών οχημάτων σε $\left(\frac{\$}{pkm}\right)$
$pTicket_{r,t}$	Μέση τιμή εισιτηρίου μέσων μαζικής μεταφοράς σε $\left(\frac{\$}{pkm}\right)$
Παράμετροι:	
$\theta_{r,t}^{Vehicles}, \theta_{r,t}^{Ticket}$	Μερίδια αξίας της συνάρτησης CES για ιδιωτική και δημόσια μετακίνησης αντιστοίχως
$sm_{r,t}$	Ελαστικότητα της συνάρτησης CES μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής μετακίνησης

Η λύση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης προκύπτει από το λήμμα του Shephard, (ή διαφορετικά από τις συνθήκες πρώτης τάξης). Το οποίο δίνει δύο συναρτήσεις ζήτησης μια για δημόσια και μια για ιδιωτική μεταφορά. Αντικαθιστώντας τις συναρτήσεις ζήτησης στον περιορισμό μας δίνει τη μοναδιαία τιμή της συνάρτησης χρησιμότητας των μεταφορών $pMobil_{r,t}$. Οπότε έχουμε:

$$\frac{pMobil_{r,t}}{pmobil_{r,0}} = \left(\theta_{r,t}^{Vehicles} \cdot \left(\frac{pVehicles_{r,t}}{pvehicles_{r,0}} \right)^{1-sm_{r,t}} \right)^{\frac{1}{1-sm_{r,t}}} + \theta_{r,t}^{Ticket} \cdot \left(\frac{pTicket_{r,t}}{pticket_{r,0}} \right)^{1-sm_{r,t}}$$

και

$$Vehicles_{r,t} = \theta_{r,t}^{Vehicles} \cdot \frac{pMob_{r,0}}{pVehicles_{r,0}} \cdot Mobility_{r,t} \cdot \left(\frac{pMobil_{r,t}}{pMobil_{r,0}} \cdot \frac{pVehicles_{r,0}}{pVehicles_{r,t}} \right)^{sm_{r,t}}$$

$$Ticket_{r,t} = \theta_{r,t}^{Ticket} \cdot \frac{pMo_{r,0}}{pTicket_{r,0}} \cdot Mobility_{r,t} \cdot \left(\frac{pMobil_{r,t}}{pMobil_{r,0}} \cdot \frac{pTicket_{r,0}}{pTicket_{r,t}} \right)^{sm_{r,t}}$$

Στο επόμενο επίπεδο του δέντρου απόφασης, ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής καλείται να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει νέο ή παλιό αυτοκίνητο για τις μετακινήσεις του δεδομένου της συνολικής ζήτησης για επιβατικά χιλιόμετρα με ιδιωτικά αυτοκίνητα ($Vehicles_{r,t}$). Έτσι, δεδομένου του στόλου των παλιών αυτοκινήτων και της ζήτησης που μπορούν να ικανοποιήσουν αυτά, η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα από νέα αυτοκίνητα ($NewVehicles_{r,t}$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{NewVehicles}_{r,t} = \text{Vehicles}_{r,t} - \sum_v \text{Vehicle}_{\text{old},v,r,t}$$

Όπου:

$\text{NewVehicles}_{r,t}$: η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα από νέα αυτοκίνητα σε ($Gpkm$),

$\text{Vehicle}_{\text{old},v,r,t}$: η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα που καλύπτεται από υπάρχοντα αυτοκίνητα σε ($Gpkm$) ανά τύπο (v) οχήματος.

Η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα παρέχεται από νέα αυτοκίνητα τριών ειδών τεχνολογίας: τα συμβατικά (ICE, με κινητήρα εσωτερικής καύσης συμπεριλαμβανομένων και των υβριδικών), τα ημι-ηλεκτρικά (PHEV, plugin-hybrid) και τα καθαρά ηλεκτρικά (BEV). Ο διαχωρισμός αυτός αν και απλοϊκός σε σχέση με ενεργειακά μοντέλα μεταφοράς εξυπηρετεί στην βελτίωση της αναπαράστασης της ενεργειακής ζήτησης στις ιδιωτικές μεταφορές. Η μοντελοποίηση της επιλογής αυτοκινήτου βασίζεται στην θεωρία των μοντέλων διακριτής επιλογής.

Τα μοντέλα διακριτής επιλογής αποτέλεσαν την βάση για την προσέγγιση της δραστηριότητας (τα επιβατικά χιλιόμετρα) των νέων οχημάτων ανά τύπο τεχνολογίας χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση Weibull (Fosgerau and Bierlaire 2009; Mattsson, Weibull, and Lindberg 2014). Η συνάρτηση Weibull ανήκει στην οικογένεια συναρτήσεων τύπου “logit”. Η αναπαράσταση αποφάσεων διακριτής επιλογής μεταξύ μη απαραίτητα υποκαταστάσιμων εναλλακτικών επιλογών επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση της θεωρίας διακριτής επιλογής (Ortuzar and Willumsen 2011). Η εν λόγω θεωρία αποτέλεσε βάση για την ανάπτυξη των μοντέλων τύπου Random Utility, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιβλιογραφία για την προσομοίωση της ετερογένειας στην συμπεριφορά των αποφάσεων των νοικοκυριών (βλέπε μοντέλα: PRIMES-TREMOVE³⁷, PROMETHEUS³⁸, IMACLIM³⁹, IMAGE⁴⁰, MESSAGE⁴¹, TIAM-UCL⁴², WITCH⁴³). Στα μοντέλα αυτά, η κάθε επιλογή αποτελεί ένα μοναδικό διακριτό συμβάν, για παράδειγμα ένας καταναλωτής αποφασίζει ποια τεχνολογία αυτοκινήτου θα επιλέξει (1) ενώ απορρίπτει τις υπόλοιπες (0), η επιλογή γίνεται με βάση την χρησιμότητα που προσφέρει η τεχνολογία. Η χρησιμότητα αναπαρίσταται ως

³⁷ (P Capros 2013)

³⁸ (Fragkos, Kouvaritakis, and Capros 2015)

³⁹ (Waisman, Guivarch, and Lecocq 2013)

⁴⁰ (Girod, van Vuuren, and Deetman 2012)

⁴¹ (Riahi et al. 2012)

⁴² (Anandarajah et al. 2011)

⁴³ (Bosetti and Longden 2013)

τυχαία μεταβλητή z και εξαρτάται από το σύνολο των παρατηρημένων χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης επιλογής (όπως π.χ. το συνολικό κόστος) και από τα χαρακτηριστικά του αποφασίζοντα. Στην οικονομική θεωρία ο αποφασίζων επιλέγει την τεχνολογία με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα για δεδομένη δαπάνη ή ισοδύναμα (δουικό πρόβλημα) επιλέγει αυτή με το μικρότερο κόστος για δεδομένο επίπεδο χρησιμότητας.

Στην πραγματικότητα ο κάθε καταναλωτής (h) κάνει βελτιστοποίηση της χρησιμότητάς του με βάση το εισοδηματικό του περιορισμό και τις διαφορετικές του προτιμήσεις. Η διαφορετική συμπεριφορά του κάθε καταναλωτή αναπαρίσταται μέσω ενός αντιπροσωπευτικού καταναλωτή του οποίου όμως τώρα η συνάρτηση χρησιμότητας ($V_{h,v}$) είναι μια τυχαία μεταβλητή. Η συνάρτηση χρησιμότητας του γράφεται ως εξής:

$$V_{h,v} = \gamma \cdot z_{h,v} + \varepsilon_{h,v}$$

όπου η παράμετρος γ είναι η ελαστικότητα της επιλογής, $z_{h,v}$ είναι το διάνυσμα των παρατηρημένων μεταβλητών, $\varepsilon_{h,v}$ είναι οι μη παρατηρημένες μεταβλητές.

Η πιθανότητα ο αποφασίζων να επιλέξει την εναλλακτική επιλογή v έναντι μιας άλλης εναλλακτικής vv από το ίδιο σύνολο επιλογών είναι:

$$Pr(v|z_{h,v}) = Pr(V_{h,v} > V_{h,vv})$$

Ανάλογα με την κατανομή που ακολουθεί η τυχαία μεταβλητή z θεμελιώθηκαν εναλλακτικά μοντέλα διακριτών επιλογών. Αν η τυχαία μεταβλητή ακολουθεί κατανομή ακραίων τιμών (generalized extreme value distribution), με αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(x) = e^{-e^{-x}}$, τότε σύμφωνα με τον McFadden (1978), η πιθανότητα ο αποφασίζων να επιλέξει την εναλλακτική επιλογή v υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση που είναι γνωστή ως το μοντέλο logit:

$$Pr(v|z_{h,v}) = \frac{e^{\gamma \cdot z_{h,v}}}{\sum_{vv} e^{\gamma \cdot z_{h,vv}}}$$

Στην παραπάνω σχέση η μεταβλητή z είναι αρνητική εφόσον αναπαριστά το συνολικό κόστος της επιλογής. Δεδομένου ότι υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ επιλογής και συνολικού κόστους, η παράμετρος γ είναι θετική. Αντικαθιστώντας την μεταβλητή z της παραπάνω εξίσωσης με τον λογάριθμο της μοναδιαίας τιμής του συνολικού κόστους pTC_v , έχουμε:

$$z_{h,v} = -\ln(pTC_{h,v})$$

Τότε προκύπτει η κατανομή της τυχαίας μεταβλητής κατά Weibull σύμφωνα με τους (Castillo et al. 2008), (Fosgerau and Bierlaire 2009) και (Mattsson, Weibull, and Lindberg 2014):

$$Pr(v|z_{h,v}) = \frac{e^{-\gamma \cdot \ln(pTC_{h,v})}}{\sum_{vv} e^{-\gamma \cdot \ln(pTC_{h,vv})}} = \frac{pTC_{h,v}^{-\gamma}}{\sum_{vv} pTC_{h,vv}^{-\gamma}}$$

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται στο GEM3-RD για να περιγράψει τις διαφορετικές επιλογές των v εναλλακτικών τεχνολογιών για την κάλυψη των νέων επιβατικών χιλιομέτρων εξ αιτίας της ετερογένειας στην συμπεριφορά των καταναλωτών. Η πιθανότητα ο καταναλωτής να επιλέξει την v τεχνολογία αυξάνεται όσο το συνολικό κόστος της τεχνολογίας μειώνεται. Μέσω του μηχανισμού αυτού εξασφαλίζεται η διάχυση των επιλογών ανάμεσα στις προσφερόμενες τεχνολογίες (για παράδειγμα την αποφυγή της καθολικής επιλογής μιας τεχνολογίας). Η επιλογή συναρτησιακής μορφής μεταξύ logit και Weibull γίνεται συνήθως εμπειρικά (Fosgerau and Bierlaire 2009). Το πλεονέκτημα της χρήσης της συνάρτησης Weibull έγκειται στο γεγονός ότι η logit παρουσιάζει ταχύτερη σύγκλιση προς τις ακραίες τιμές. Η συνάρτηση Weibull έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από μοντέλα ενεργειακής-οικονομικής ανάλυσης, εξαιτίας της ευκολίας υλοποίησης της και των σημαντικών ιδιοτήτων της (J. F. Clarke and Edmonds 1993; Reister 1983). Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση Weibull για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών όσο αναφορά την επιλογή αυτοκινήτου.

Η συχνότητα επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών αυτοκινήτων εκφράζεται ως το μερίδιο ($xshVehicle_{new,v,r,t}$) της συγκεκριμένης επιλογής στο σύνολο των νέων αγορών αυτοκινήτων. Ο τύπος του μεριδίου της συνάρτησης Weibull που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή δίνεται ακολούθως:

$$xshVehicle_{new,v,r,t} = \frac{m_{new,v,r,t} \cdot (pVehicle_{new,v,r,t} \cdot prcvC_{v,r,t})^{-\sigma_{v,r,t}}}{\sum_{vv} m_{new,vv,r,t} \cdot (pVehicle_{new,vv,r,t} \cdot prcvC_{vv,r,t})^{-\sigma_{v,r,t}}}$$

Το μερίδιο εξαρτάται ενδογενώς από το πραγματικό κόστος του κάθε τύπου αυτοκινήτου, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και χρήσης ($pVehicle_{new,v,r,t}$), σε σύγκριση με το μέσο συνολικό κόστος των αυτοκινήτων. Ακόμα, το μερίδιο εξαρτάται από το πόσο ώριμη ($m_{new,v,r,t}$) είναι αυτή η τεχνολογία σε σχέση με τις ανταγωνιστικές επιλογές ή διαφορετικά είναι ένας δείκτης μέτρησης της διαθεσιμότητας και αποδοχής της τεχνολογίας v . Στο μοντέλο έχει γίνει η υπόθεση ότι στο έτος βάσης, τα συμβατικά αυτοκίνητα παίρνουν την τιμή 1, τα υβριδικά παίρνουν την τιμή 0.02 και τα καθαρά ηλεκτρικά την τιμή 0.01. Η

παράμετρος $m_{new,v,r,t}$ αναπαριστά την αναλογία ανά τύπο αυτοκινήτου που θα υπήρχε στην αγορά αν δεν υπήρχαν κρυφά κόστη στο έτος βάσης. Οι τιμές συγκλίνουν σταδιακά στην μονάδα για όλους τους τύπους αυτοκινήτων την χρονική στιγμή που είναι πλήρως ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Επίσης, το μερίδιο εξαρτάται από τα κρυφά κόστη ($prcv_{v,r,t}$) που υπάρχουν για την κάθε τεχνολογία. Τα κρυφά κόστη είναι τα κόστη που δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα, κάποια από αυτά είναι το άγχος αυτονομίας για την χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η έλλειψη διαθεσιμότητας στις υποδομές παροχής καυσίμου. Το κρυφό κόστος αυξάνει το κόστος χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ η μείωση του κρυφού κόστους συνδέεται με επενδύσεις σε υποδομές. Η παράμετρος ($\sigma_{V_r,t}$) αναπαριστά το ρυθμό υποκατάστασης μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών vv με βάση το σχετικό λόγο των δεικτών κόστους μεταξύ των επιλογών.

Το πραγματικό κόστος της δραστηριότητας του αυτοκινήτου ($pVehicle_{new,v,r,t}$) περιλαμβάνει το κόστος λειτουργίας και το ετησιοποιημένο κόστος αγοράς, το οποίο εξαρτάται από τον τύπο του αυτοκινήτου (για παράδειγμα το κόστος αγοράς των συμβατικών είναι χαμηλότερο σε σχέση με εκείνο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ όσο αναφορά για το κόστος χρήσης του αυτοκινήτου συμβαίνει το αντίθετο). Το μοναδιαίο κόστος αυτοκινήτου ανά επιβατοχιλιόμετρο δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$pVehicle_{new,v,r,t} = \frac{pOper_{v,r,t}}{efficiency_{new,v,r,t}} + \frac{pPurch_{v,r,t}}{xoperation_{new,v,r,t}} \cdot \frac{df \cdot (1 + df)^{lif}}{(1 + df)^{lif} - 1}$$

Όπου $pOper_{v,r,t}$ είναι το κόστος λειτουργίας ανά τύπο αυτοκινήτου, το οποίο συμπεριλαμβάνει όλα τα λειτουργικά έξοδα (κόστος καυσίμου, διοδίων, επισκευών, ασφάλειας κτλ.), $pPurch_{v,r,t}$ είναι το κόστος αγοράς του αυτοκινήτου, η παράμετρος df είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο, η παράμετρος lif αντιπροσωπεύει την διάρκεια αποπληρωμής του δανείου, όπου $\frac{df \cdot (1 + df)^{lif}}{(1 + df)^{lif} - 1}$ είναι το ποσό της δόσης του δανείου, η παράμετρος $efficiency_{new,v,r,t}$ αναπαριστά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου όσο αναφορά την ενέργεια που απαιτείται για κάθε επιβατικό χιλιόμετρο, ενώ δυναμικά στο χρόνο αντανακλά την βελτίωση της τεχνολογικής προόδου της ενέργειας του κάθε αυτοκινήτου. Η μεταβλητή $xoperation_{new,v,r,t}$ αναφέρεται στην λειτουργία του οχήματος, αντικατοπτρίζοντας πόσα επιβατικά χιλιόμετρα κάνει το μέσο αυτοκίνητο το χρόνο και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$xoperation_{age,v,r,t} = minop_{age,v,r,t} + dispop_{age,v,r,t} \cdot \left(\frac{poper_{age,v,r,t}}{poper_{age,v,r,0}} \cdot \frac{pCI_{r,0}}{pCI_{r,t}} \right)^{-elopage,v,r}$$

Η παραπάνω σχέση εξασφαλίζει μια ελάχιστη χρήση του κάθε αυτοκινήτου ($\min op_{age,v,r,t}$), ενώ η χρήση πέραν από την ελάχιστη εξαρτάται μέσω μιας ελαστικότητας ($el op_{age,v,r}$) από το κόστος λειτουργίας του σε σχέση με το γενικό επίπεδο τιμών ($pCI_{r,t}$). Όπου $dispr op_{age,v,r,t}$ είναι η παράμετρος, η οποία αντιπροσωπεύει τα επιβατικά χιλιόμετρα που κάνει το κάθε αυτοκίνητο πέραν των ελάχιστων στο έτος βάσης. Μείωση της χρήσης του αυτοκινήτου μπορεί να συμβεί όταν αυξάνεται το κόστος λειτουργίας του, είτε λόγω παλαιότητας του αυτοκινήτου, είτε εξαιτίας της αύξησης του κόστους καυσίμου λόγω επιβολής κάποιου περιβαλλοντολογικού φόρου, είτε λόγω επιβάρυνσης οποιασδήποτε λειτουργικής δαπάνης.

Το πλήθος των αυτοκινήτων ($Stock_{age,v,r,t}$), το οποίο διαφοροποιείται ανάλογα με την παλαιότητα και τον τύπο αυτοκινήτου, συνδέεται με την ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$Stock_{age,v,r,t} = \frac{Vehicle_{age,v,r,t}}{xoperation_{age,v,r,t}}$$

Η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα ανά ηλικία και ανά τύπο αυτοκινήτου δίνεται ακολούθως:

$$Vehicle_{age,v,r,t} = xshVehicle_{age,v,r,t} \cdot NewVehicles_{r,t}$$

Η εξίσωση ανανέωσης του στόλου των παλαιών αυτοκινήτων δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Stock_{old,v,r,t} = (Stock_{old,v,r,t-1} + Stock_{new,v,r,t-1}) \cdot (1 - scrap_{old,v,r,t})^{Tt} + Stock_{new,v,r,t} \cdot \frac{(1 - scrap_{new,v,r,t}) - (1 - scrap_{new,v,r,t})^{Tt}}{scrap_{new,v,r,t}}$$

Το πλήθος των παλαιών αυτοκινήτων είναι ίσο με το πλήθος όσων υπήρχαν την προηγούμενη περίοδο, αφαιρώντας όσα αποσύρθηκαν από τα παλιά της προηγούμενης περιόδου, προσθέτοντας τα νέα αυτοκίνητα της τρέχουσας περιόδου και αφαιρώντας την απόσυρση των νέων αυτοκινήτων μέσα στην περίοδο. Η απόσυρση των παλιών αυτοκινήτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των νέων, έτσι ώστε να προσομοιώνεται καλύτερα η καμπύλη ζωής των οχημάτων.

Το μέσο κόστος της μεταφοράς με ιδιωτικό αυτοκίνητο είναι το άθροισμα του κόστους χρήσης κάθε τύπου αυτοκινήτου κάθε γενιάς συν το κόστος αγοράς των νέων αυτοκινήτων (Για απλοποίηση του προβλήματος υποθέτουμε ότι η δόση των παλαιών αυτοκινήτων είναι ίση με το υπόλοιπο της δόσης των νέων αυτοκινήτων. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι για κάθε χρονική περίοδο οι

παραγωγοί αυτοκινήτων πληρώνονται όλο το ποσό, συνεπώς εξασφαλίζεται η συνθήκη μηδενικού κέρδους). Το μέσο κόστος της μεταφοράς με ιδιωτικό αυτοκίνητο δίνεται ακολούθως:

$$pVehicles_{r,t} = \frac{\sum_v \left(\left(\frac{pOper_{v,r,t}}{efficiency_{new,v,r,t}} + \frac{pPurch_{v,r,t}}{xoperation_{new,v,r,t}} \right) \cdot Vehicle_{new,v,r,t} \right)}{Vehicles_{r,t}} + \frac{\sum_v \left(\left(\frac{pOper_{v,r,t}}{efficiency_{old,v,r,t}} \right) \cdot Vehicle_{old,v,r,t} \right)}{Vehicles_{r,t}}$$

Συνοψίζοντας, η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα διακρίνεται σε ζήτηση που καλύπτεται από μέσα μαζικής μεταφοράς και σε ζήτηση που καλύπτεται από ιδιωτικά αυτοκίνητα. Η ζήτηση για μέσα μαζικής μεταφοράς μετασχηματίζεται σε ζήτηση για καταναλωτικά προϊόντα βάσει ενός πίνακα σταθερών συντελεστών (*thcfv*). Αντίστοιχα, η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα που καλύπτεται από ιδιωτικά αυτοκίνητα χωρίζεται αρχικά ανά είδος αυτοκινήτου (συμβατικό, ημί-ηλεκτρικό, ηλεκτρικό) και μετά σε αγορά και χρήση του διαρκούς αγαθού. Έτσι η ζήτηση για επιβατικά χιλιόμετρα που καλύπτεται από ιδιωτικά αυτοκίνητα αποτελείται από ζήτηση για κατανάλωση ανά σκοπό 6 κατηγοριών. Η κάθε κατανάλωση ανά σκοπό (*mfn*) μετασχηματίζεται σε ζήτηση για καταναλωτικά προϊόντα βάσει ενός πίνακα σταθερών συντελεστών (*thcfv*) όπως και στην περίπτωση της ζήτησης που καλύπτεται από μέσα μαζικής μεταφοράς. Ένας ενδεικτικός πίνακας σταθερών συντελεστών (*thcfv*) για τις κατηγορίες μετακίνησης των νοικοκυριών δίνεται ακολούθως:

Πίνακας 5-2: Πίνακας σταθερών συντελεστών της κατανάλωσης κατά σκοπό και κατά προϊόν

	Δημόσιες μεταφορές (μέσα μαζικής μεταφοράς)	Ιδιωτικές μεταφορές (αυτοκίνητα)					
		Αγορά			Χρήση		
		Αγορά συμβατικού αυτοκινήτου (ICE)	Αγορά ημι-ηλεκτρικού αυτοκινήτου (PHEV)	Αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου (BEV)	Χρήση συμβατικού αυτοκινήτου (ICE)	Χρήση ημι-ηλεκτρικού αυτοκινήτου (PHEV)	Χρήση ηλεκτρικού αυτοκινήτου (BEV)
	10	08a	08b	08c	09a	09b	09c
Βενζίνη/Πετρέλαιο					60.0	29.2	
Φυσικό αέριο					0.4		
Ηλεκτρισμός						32.6	63.2
Σιδηρούχα και μη μέταλλα					0.1	0.1	0.1
Χημικά Προϊόντα					1.6	1.5	1.5
Ηλεκτρικές συσκευές					1.5	1.4	1.4
Εξοπλισμός για συμβατικές μεταφορές		80.5			3.8	3.7	3.6
Υπηρεσία μεταφορών	97.8				2.0	2.0	1.9
Υπηρεσίες αγορών	1.4	19.5	16.8	16.8	27.2	26.3	25.5
Μη εμπορεύσιμες υπηρεσίες	0.8				3.1	3.0	2.9
Αιθανόλη					0.1	0.0	
Βιοντήζελ					0.2	0.1	
Παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων			83.2	83.2			
Υπηρεσίες πάρκινγκ					0.	0.0	0.0
Συνολικά	100	100	100	100	100	100	100

Όπως διακρίνεται στον παραπάνω πίνακα, η υπηρεσία των μέσων μαζικής μεταφοράς προσφέρεται από τον κλάδο των μεταφορών, η αγορά συμβατικού

αυτοκινήτου προσφέρεται από τον κλάδο εξοπλισμού για συμβατικές μεταφορές (**Εξοπλισμός για συμβατικές μεταφορές**) ενώ η αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων προσφέρεται από τον κλάδο ηλεκτρικών οχημάτων (**Παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων**). Για την χρήση συμβατικού αυτοκινήτου χρησιμοποιούνται βενζίνη/πετρέλαιο, φυσικό αέριο και βιοκαύσιμα, για τα ημι-ηλεκτρικά επιπλέον ηλεκτρισμός ενώ τα καθαρά ηλεκτρικά χρησιμοποιούν μόνο ηλεκτρισμό για να κινηθούν. Επιπλέον η χρήση αυτοκινήτου έχει κόστος για διόδια, ασφάλεια, πάρκινγκ, επισκευές αυτοκινήτου.

5.1.2. Υπηρεσίες μεταφοράς των επιχειρήσεων

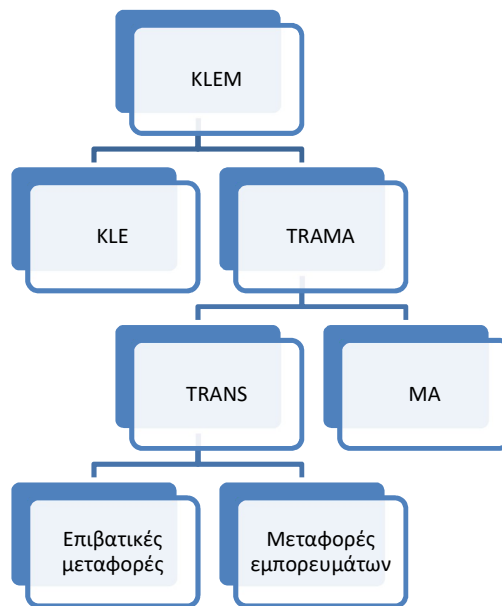
Οι μετακινήσεις εμπορευμάτων των επιχειρήσεων καθώς και των εργαζομένων αποτελούν μέρος της παραγωγικής διαδικασίας των επιχειρήσεων. Στο μοντέλο υπάρχουν έξι ξεχωριστοί κλάδοι μεταφορών που παρέχουν τις υπηρεσίες μεταφορών, οι οποίοι χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: αυτούς που παρέχουν υπηρεσίες μεταφοράς επιβατών/εργαζομένων και αυτές που παρέχουν υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων (βλέπε στον παρακάτω πίνακα).

	Κλάδοι μεταφορών	Κατηγορία
01	Επιβατικές υπηρεσίες μεταφοράς με αεροπλάνα	Υπηρεσίες μεταφοράς επιβατών/εργαζομένων
02	Επιβατικές υπηρεσίες μεταφοράς με λεωφορεία	
03	Επιβατικές υπηρεσίες μεταφοράς με τρένα	
04	Επιβατικές υπηρεσίες μεταφοράς με πλοία	
05	Υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων με φορτηγά	Υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων
06	Υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων με τρένα	
07	Υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων με πλοία	

Η συνάρτηση παραγωγής των κλάδων που παρέχουν τις υπηρεσίες μεταφοράς είναι όπως όλων των κλάδων με εξαίρεση το επίπεδο στο οποίο ο παραγωγός επιλέγει το είδος καυσίμου (Σχήμα 3-3). Οι παραγωγοί έχουν δύο επιπλέον επιλογές για βιοκαύσιμα (βιοαιθανόλη και βιοντήζελ).

Από την πλευρά της ζήτησης στη συνάρτηση παραγωγής κάθε κλάδου έχουν προστεθεί επιπλέον οι κατηγορίες μεταφορών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η συναρτησιακή μορφή της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε είναι σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης (CES) πολλών επιπέδων. Ο παραγωγός του κάθε κλάδου αφού έχει αποφασίσει την ζήτηση για Κεφάλαιο, Εργασία,

Ενέργεια και Υλικά & Υπηρεσίες (*KLEM*), αποφασίζει μεταξύ του κεφαλαίου, της εργασίας, της ενέργειας (*KLE*) και των υλικών και υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένου και των μεταφορικών υπηρεσιών (*TRAMA*). Στο επόμενο επίπεδο δεν υπάρχει υποκατάσταση μεταξύ μεταφορών (*TRANS*) και άλλων υλικών & υπηρεσιών (*MA*) υποθέτοντας μηδενική ελαστικότητα υποκατάστασης. Η ζήτηση για μεταφορές στη συνέχεια χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (1) επαγγελματικά ταξίδια εργαζομένων των επιχειρήσεων, (2) μεταφορές εμπορευμάτων, οι οποίες αφορούν τις μεταφορές εμπορευμάτων από τη ζώνη της παραγωγής μέχρι το σημείο πώλησης εντός της χώρας. Οι μεταφορές εμπορευμάτων και των εργαζομένων θεωρούνται συμπληρωματικές εισροές, ως εκ τούτου, η συνολική ζήτηση μεταφορών κατανέμεται μεταξύ αυτών των κατηγοριών με σταθερές αναλογίες. Οι παραγωγοί αντιμετωπίζουν ένα επιπλέον κόστος, το κόστος μεταφοράς των ενδιάμεσων προϊόντων τα οποία είναι εισαγόμενα που απαιτούνται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

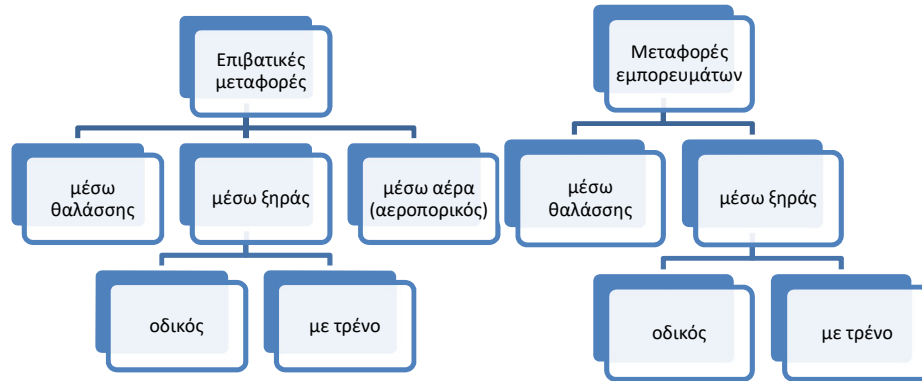


Σχήμα 5-2: Δέντρο απόφασης για μεταφορές

Η κατηγορία της μεταφοράς των εμπορευμάτων διαχωρίζεται επιπλέον σε δύο κατηγορίες⁴⁴: διαμέσου γης και διαμέσου θάλασσας. Οι μεταφορές διαμέσου γης διαχωρίζονται επιπλέον μεταξύ οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών.

⁴⁴ Οι μεταφορές εμπορευμάτων αεροπορικώς δεν έχει εξετασθεί, δεδομένου ότι κατέχουν ένα περιορισμένο μερίδιο στις συνολικές μεταφορές εμπορευμάτων.

Η μεταφορά των εργαζομένων/επιβατών διακρίνεται στις εξής διαθέσιμες μεταφορές: αερομεταφορές, επίγειες και θαλάσσιες. Όπως και στις εμπορευματικές μεταφορές οι επίγειες χωρίζονται σε οδικές και σιδηροδρομικές.



Σχήμα 5-3: Δέντρο απόφασης για επιβατικές μεταφορές και μεταφορές εμπορευμάτων αντίστοιχα.

5.1.3. Διεθνείς μεταφορές εμπορευμάτων

Οι δαπάνες που σχετίζονται με τη μεταφορά των τελικών ή ενδιάμεσων προϊόντων από την παραγωγή μέχρι το σημείο κατανάλωσης, περιλαμβάνονται στις τιμές που βλέπουν οι καταναλωτές (ενδιάμεσοι ή τελικοί). Οι επιχειρήσεις πωλούν τα προϊόντα τους στο κατάστημά τους. Στην τιμή εισαγωγής των προϊόντων που καλύπτονται από το μοντέλο έχει εισαχθεί ένα κόστος μεταφοράς. Το κόστος αυτό είναι διαφορετικό από χώρα σε χώρα και ως σύνολο προσδιορίζει τις δαπάνες που σχετίζονται με τη μεταφορά των τελικών ή ενδιάμεσων προϊόντων. Έτσι, όταν οι καταναλωτές αγοράζουν εισαγόμενο προϊόν, πληρώνουν επιπλέον κόστος μεταφοράς για την παράδοσή του. Ενώ, στα εγχώρια προϊόντα το κόστος μεταφοράς είναι ενσωματωμένο στην τιμή του προϊόντος. Υπάρχει μια παγκόσμια τιμή για κάθε είδος μεταφοράς (με αεροπλάνο, φορτηγό, τρένο, πλοίο). Αυτές οι τέσσερις υπηρεσίες μεταφοράς πωλούνται στα εισαγόμενα προϊόντα όλων των κλάδων παραγωγής σε όλες τις χώρες σε σταθερές αναλογίες για το ποια χώρα και είδος μεταφοράς θα τα προσφέρει. Το μοντέλο υπολογίζει αρχικά το ποσό των ροών του διεθνούς εμπορίου και των απαιτούμενων υπηρεσιών μεταφοράς και στην συνέχεια κατανέμει την ζήτηση υπηρεσιών μεταφοράς για κάθε χώρα σε σταθερές αναλογίες. Η παγκόσμια μέση τιμή του κάθε είδους διεθνούς μεταφοράς εμπορευμάτων υπολογίζεται ως η μέση σταθμισμένη τιμή κάθε προμηθευτή

υπηρεσίας μεταφορών (ως συντελεστές στάθμισης είναι οι πωλήσεις του κάθε προμηθευτή).

5.2. Ζήτηση ενέργειας των νοικοκυριών

Η ζήτηση για ενέργεια των νοικοκυριών μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες: **1)** η ενέργεια που δαπανάται για **επιβατικές μεταφορές** (με την χρήση αυτοκινήτου), **2)** η ενέργεια που δαπανάται για **θέρμανση/ψύξη** του σπιτιού (κ.α. με παρόμοιο τρόπο χρήσης της ενέργειας, όπως μαγείρεμα, θέρμανση νερού) και **3)** η ενέργεια που δαπανάται για τις υπόλοιπες **ηλεκτρικές συσκευές** του σπιτιού (ψυγείο, φωτισμός, πλυντήριο ρούχων, πλυντήριο πιάτων, τηλεοράσεις και άλλες μικροσυσκευές). Η παρούσα υποενοότητα πραγματεύεται τις δύο τελευταίες κατηγορίες⁴⁵. Η μοντελοποίηση αυτών των κατηγοριών ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία της θεωρίας μοντέλων διακριτής επιλογής.

5.2.1. Θέρμανση/ψύξη του σπιτιού

Στην δεύτερη κατηγορία της ζήτησης ενέργειας των νοικοκυριών ανήκουν οι πιο ενεργοβόρες δραστηριότητες όπως είναι η θέρμανση και η ψύξη, στην ίδια κατηγορία έχει ενσωματωθεί και το μαγείρεμα εξ' αιτίας των ενεργειακών απαιτήσεων. Οι ενεργοβόρες δραστηριότητες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: δημόσια και ιδιωτική. Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής μπορεί είτε να πληρώσει μια εταιρία που θα του παρέχει τηλεθέρμανση (district heating), είτε να δημιουργήσει την υπηρεσία μόνος του αγοράζοντας την συσκευή (για παράδειγμα τον καυστήρα) και φέροντας την σε λειτουργία. Στην πρώτη περίπτωση, ο καταναλωτής πληρώνει μόνο την εταιρία για να πάρει την υπηρεσία, ενώ στην δεύτερη πρέπει να προβεί σε κόστος αγοράς αλλά και χρήσης της συσκευής. Η ζήτηση δραστηριότητας από ιδιωτική συσκευή χωρίζεται σε κατηγορίες ανά είδος καυσίμου και ανά ενεργειακή κλάση (Α ενεργειακής κλάσης ή Β ενεργειακής κλάσης). Το δέντρο επιλογών του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή δίνεται στο παρακάτω σχήμα:

⁴⁵ Η πρώτη κατηγορία παρουσιάστηκε αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο (βλέπε 5.1.1).



Σχήμα 5-4: Δέντρο απόφασης του νοικοκυριού για θέρμανση/ψύξη

Για την επιλογή ανάμεσα σε Ιδιωτική και Δημόσια χρησιμοποιήθηκε μία συνάρτηση CES. Το πρόβλημα μεγιστοποίησης της χρησιμότητας του νοικοκυριού σε αυτό το στάδιο είναι το ακόλουθο:

$$\max_{EnPrivate_{r,t}, EnPublic_{r,t}} EnHsTOT_{r,t} = EnHsTOT_{r,0} \cdot \left(\theta_{r,t}^{EnPrivate} \cdot \left(\frac{EnPrivate_{r,t}}{EnPrivate_{r,0}} \right)^{\frac{sen_{r,t}-1}{sen_{r,t}}} + \theta_{r,t}^{EnPublic} \cdot \left(\frac{EnPublic_{r,t}}{EnPublic_{r,0}} \right)^{\frac{sen_{r,t}-1}{sen_{r,t}}} \right) \quad (5.3)$$

Υπό τον περιορισμό των χρημάτων που θα δαπανήσει για την 2^η κατηγορία:

$$\begin{aligned} pEnPrivate_{r,t} \cdot EnPrivate_{r,t} + pEnPublic_{r,t} \cdot EnPublic_{r,t} \\ = pEnHsTOT_{r,t} \cdot EnHsTOT_{r,t} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Πίνακας 5-3: Δείκτες, μεταβλητές και παράμετροι του υπομοντέλου της ενέργειας των νοικοκυριών

Μεταβλητές:	
$EnHsTOT_{r,t}$	Συνολική ωφέλιμη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση σε (useful mtoe)
$pEnHsTOT_{r,t}$	Γενικευμένη τιμή ενέργεια του νοικοκυριού σε $\left(\frac{\$}{useful\ mtoe} \right)$
$EnPrivate_{r,t}$	Ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια με χρήση ιδιωτικών συσκευών σε (useful mtoe)
$EnPublic_{r,t}$	Ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια με χρήση τηλεθέρμανσης σε (useful mtoe)
$pEnPrivate_{r,t}$	Μέση τιμή ενέργειας του νοικοκυριού με χρήση ιδιωτικών συσκευών σε $\left(\frac{\$}{useful\ mtoe} \right)$
$pEnPublic_{r,t}$	Μέση τιμή της τηλεθέρμανσης σε $\left(\frac{\$}{useful\ mtoe} \right)$
Παράμετροι:	
$\theta_{r,t}^{EnPrivate}, \theta_{r,t}^{EnPublic}$	μερίδια αξίας της συνάρτησης CES για ιδιωτική και δημόσια ενέργεια αντιστοίχως
$sen_{r,t}$	ελαστικότητα της συνάρτησης CES μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής ενέργειας

Η λύση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης προκύπτει από το λήμμα του Shephard, (ή διαφορετικά από τις συνθήκες πρώτης τάξης), το οποίο δίνει δύο συναρτήσεις ζήτησης μια για δημόσια και μια για ιδιωτική.

Αντικαθιστώντας τις συναρτήσεις ζήτησης στον περιορισμό μας δίνεται η μοναδιαία τιμή της συνάρτησης χρησιμότητας $pEnHsTOT_{r,t}$. Οπότε έχουμε:

$$\frac{pEnHsTOT_{r,t}}{pEnHsTOT_{r,0}} = \left(\theta_{r,t}^{EnPrivate} \cdot \left(\frac{pEnPrivate_{r,t}}{pEnPrivate_{r,0}} \right)^{1-sen_{r,t}} + \theta_{r,t}^{EnPublic} \cdot \left(\frac{pEnPublic_{r,t}}{pEnPublic_{r,0}} \right)^{1-sen_{r,t}} \right)^{\frac{1}{1-sen_{r,t}}}$$

και

$$EnPrivate_{r,t} = \theta_{r,t}^{EnPrivate} \cdot \frac{pEnHsTOT_{r,0}}{pEnPrivate_{r,0}} \cdot EnHsTOT_{r,t} \cdot \left(\frac{pEnHsTOT_{r,t}}{pEnHsTOT_{r,0}} \cdot \frac{pEnPrivate_{r,0}}{pEnPrivate_{r,t}} \right)^{sen_{r,t}}$$

$$EnPublic_{r,t} = \theta_{r,t}^{EnPublic} \cdot \frac{pEnHsTOT_{r,0}}{pEnPublic_{r,0}} \cdot EnHsTOT_{r,t} \cdot \left(\frac{pEnHsTOT_{r,t}}{pEnHsTOT_{r,0}} \cdot \frac{pEnPublic_{r,0}}{pEnPublic_{r,t}} \right)^{sen_{r,t}}$$

Στο επόμενο επίπεδο του δέντρου απόφασης, ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής καλείται να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει νέα ή παλιά συσκευή δεδομένου της συνολικής ζήτησης για ωφέλιμη ενέργεια με χρήση ιδιωτικών συσκευών ($EnPrivate_{r,t}$). Έτσι, δεδομένου του συνόλου των παλιών συσκευών και της ζήτησης που μπορούν να ικανοποιήσουν αυτές, η ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια από νέες συσκευές ($NewEnAp_{r,t}$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NewEnAp_{r,t} = EnPrivate_{r,t} - \sum_{enapdg} EnAp_{old,enapdg,r,t}$$

Όπου:

$NewEnAp_{r,t}$: η ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια από νέες συσκευές σε (*useful mtoe*),

$EnAp_{old,enapdg,r,t}$: η ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια από νέες συσκευές σε (*useful mtoe*) ανά τύπο (*enapdg*) συσκευής.

Η ζήτηση για ωφέλιμη ενέργεια παρέχεται από νέες συσκευές διαφορετικών ειδών τεχνολογίας, ταξινομημένες ανά είδος ενέργειας που χρησιμοποιούν και ανάλογα με την ενεργειακή κλάση στην οποία ανήκουν. Οι κατηγορίες που αφορούν το είδος ενέργειας που χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους είναι οι εξής:

- 1) Συσκευή που χρησιμοποιεί βιομάζα
- 2) Συσκευή που χρησιμοποιεί άνθρακα
- 3) Συσκευή που χρησιμοποιεί πετρέλαιο

- 4) Συσκευή που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο
- 5) Συσκευή που χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό
- 6) Συσκευή που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες (γεωθερμία, ηλιακός θερμοσίφωνας)

Στο μοντέλο υπάρχουν δύο ενεργειακές κλάσεις: Α ενεργειακή κλάση (η οποία χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία) και Β ενεργειακή κλάση (η οποία χρησιμοποιεί συμβατική τεχνολογία). Οι προηγμένες συσκευές είναι πιο αποδοτικές στην χρήση από τις συμβατικές αλλά πιο ακριβές στην αγορά, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο μέρος των καταναλωτών⁴⁶, παρόλο που μακροπρόθεσμα είναι λιγότερο δαπανηρές από τις συμβατικές, να μην τις προτιμούν, εξ' αιτίας των υψηλών συντελεστών προεξόφλησης που έχουν τα νοικοκυριά όταν αγοράζουν νέα προϊόντα. Ωστόσο υπάρχουν και οι καταναλωτές που τις προτιμούν ως λάτρεις της νέας τεχνολογίας. Η προτίμηση αυτών των συσκευών επιτυγχάνεται, είτε με κάποια φορολογία στην τιμή της ενέργειας, είτε βάση νομοθεσίας, είτε εφαρμόζοντας κάποια επιδότηση, είτε δίνοντας ευνοϊκά δάνεια για την αγορά τους.

Για την προσομοίωση της διακριτής επιλογής της τεχνολογίας των συσκευών των ετερογενών καταναλωτών χρησιμοποιήθηκε μια συνάρτηση Weibull δύο επιπέδων. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται η επιλογή με κριτήριο την ενέργεια που χρησιμοποιεί η συσκευή, ενώ στο δεύτερο η επιλογή γίνεται με κριτήριο την ενεργειακή απόδοση της συσκευής. Η συχνότητα επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών τεχνολογιών εκφράζεται ως πολλαπλασιασμός δύο μεριδίων ($xshEnAp_{1_{new, enapdg1,r,t}} \cdot xshEnAp_{1_{new, enapdu1,r,t}}$) της συγκεκριμένης επιλογής στο σύνολο των νέων συσκευών. Ο τύπος του μεριδίου της συνάρτησης Weibull που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή δίνεται ακολούθως:

$$xshEnAp_{new, enapdg1,r,t} = \frac{shEnAp_{new, enapdg1,r,t} \cdot \left(\frac{pEnAp_{new, enapdg1,r,t}}{pEnAp_{new, enapdg1,r,0}} \right)^{-\sigma_{En1,r,t}}}{\sum_{enapdu1} shEnAp_{new, enapdu1,r,t} \cdot \left(\frac{pEnAp_{new, enapdu1,r,t}}{pEnAp_{new, enapdu1,r,0}} \right)^{-\sigma_{En1,r,t}}}$$

$$xshEnAp_{new, enapdg2,r,t} = \frac{shEnAp_{new, enapdg2,r,t} \cdot \left(\frac{pEnAp_{new, enapdg2,r,t}}{pEnAp_{new, enapdg2,r,0}} \right)^{-\sigma_{En2,r,t}}}{\sum_{enapdu2} shEnAp_{new, enapdu2,r,t} \cdot \left(\frac{pEnAp_{new, enapdu2,r,t}}{pEnAp_{new, enapdu2,r,0}} \right)^{-\sigma_{En2,r,t}}}$$

⁴⁶ Η συμπεριφορά των νοικοκυριών προσομοιώνεται από ένα αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό/καταναλωτή, ενώ η ετερογένεια των διαφορετικών τύπων νοικοκυριού προσομοιώνεται μέσω της συνάρτησης Weibull.

$$xshEnAp_{new, enapdg(enapdg1, enapdg2), r, t} = xshEnAp_{new, enapdg1, r, t} \cdot xshEnAp_{new, enapdg2, r, t}$$

Το μερίδιο εξαρτάται ενδογενώς από το πραγματικό κόστος του κάθε τύπου συσκευής, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και χρήσης ($pEnAp_{new, enapdg, r, t}$), σε σύγκριση με τα κόστη των άλλων συσκευών. Ακόμα, το μερίδιο εξαρτάται από το πόσο ώριμη ($shEnAp_{new, enapdg, r, t}$) είναι αυτή η τεχνολογία σε σχέση με τις ανταγωνιστικές επιλογές ή διαφορετικά είναι ένας δείκτης μέτρησης της διαθεσιμότητας και αποδοχής της τεχνολογίας $enapdg$. Για το έτος βάσης ισχύει, $xshEnAp_{new, enapdg, r, 0} = shEnAp_{new, enapdg, r, 0}$, ενώ αλλάζει δυναμικά στο χρόνο ανάλογα με το μερίδιο αγοράς που έχει η κάθε τεχνολογία τις προηγούμενες περιόδους. Οι τιμές συγκλίνουν σταδιακά ώστε όλες οι τεχνολογίες να είναι πλήρως ανταγωνιστικές και η επιλογή τους να εξαρτάται μόνο από το πραγματικό κόστος της κάθε τεχνολογίας. Οι παράμετροι ($\sigma_{En1, r, t}$, $\sigma_{En2, r, t}$) αναπαριστούν τους ρυθμούς υποκατάστασης μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών $enapdg$ με βάση το σχετικό λόγο των δεικτών κόστους μεταξύ των επιλογών για κάθε επίπεδο απόφασης επιλογής (1,2) αντίστοιχα.

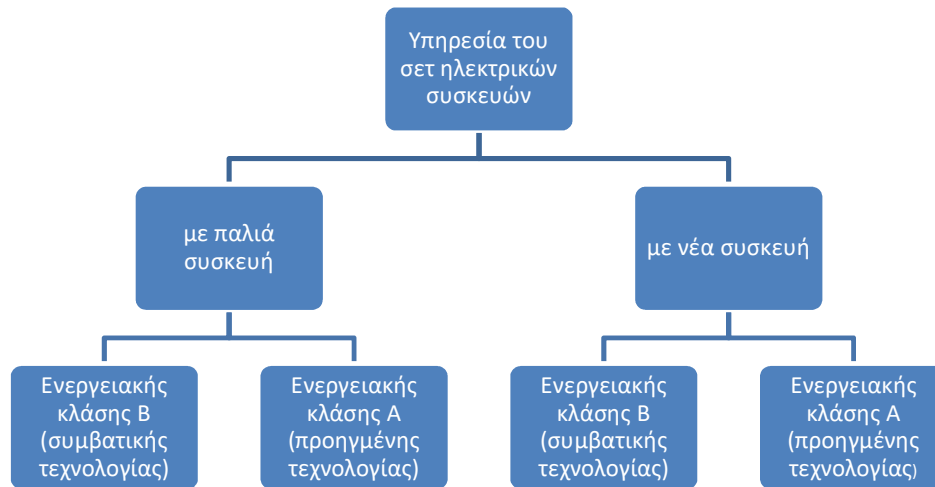
Οι σχέσεις που προκύπτουν για το κόστος αγοράς και χρήσης είναι αντίστοιχες με αυτές της προηγούμενης παραγράφου. Ένας ενδεικτικός πίνακας σταθερών συντελεστών για την 2^η κατηγορία της ενέργειας των νοικοκυριών δίνεται ακολούθως:

Πίνακας 5-4: Πίνακας σταθερών συντελεστών της κατανάλωσης κατά σκοπό και κατά προϊόν (για την 2^η κατηγορία)

	Θέρμανση/ψύξη εκτός τηλεθέρμανσης																								
	Χρήση								Αγορά																
Τηλεθέρμανση	Χρήση συμβατικών συσκευών που χρησιμοποιεί βιομάζα																								
10	04_bio_a	04_bio_b	04_col_a	04_col_b	04_oil_a	04_oil_b	04_gas_a	04_gas_b	04_ele_a	04_ele_b	04_res_a	04_res_b	06_bio_a	06_bio_b	06_col_a	06_col_b	06_oil_a	06_oil_b	06_gas_a	06_gas_b	06_ele_a	06_ele_b	06_res_a	06_res_b	
Γεωργία	1	1																							
Άνθρακας			1	1																					
Πετρέλαιο					1	1																			
Φυσικό αέριο							1	1																	
Ηλεκτρισμός Θέρμανση	1								1	1	1	1													
Συμβατικές συσκευές													1		1		1		1		1		1		1
Συσκευές προηγμένης τεχνολογίας														1		1		1		1		1		1	1
Συνολικά	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.2.2. Ηλεκτρικές συσκευές

Στην τρίτη κατηγορία της ζήτησης ενέργειας των νοικοκυριών ανήκουν όλες οι υπόλοιπες ηλεκτρικές συσκευές (ψυγείο, πλυντήριο ρούχων, πλυντήριο πιάτων, φωτισμός, τηλεόραση, μικρές ηλεκτρικές συσκευές και οποιαδήποτε άλλη συσκευή που καταναλώνει ηλεκτρισμό). Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής αγοράζει ένα σετ από συσκευές και όσο περισσότερο τις χρησιμοποιεί τόσο αυξάνεται η χρησιμότητά του. Το τελικό αγαθό είναι εκφρασμένο σε μονάδες υπηρεσίας του σετ των ηλεκτρικών συσκευών. Η ζήτηση δραστηριότητας από αυτό το σετ ηλεκτρικών συσκευών χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την ενεργειακή κλάση που ανήκουν οι συσκευές του σετ (Α ενεργειακής κλάσης ή Β ενεργειακής κλάσης). Το δέντρο επιλογών του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή όσο αναφορά τις ηλεκτρικές συσκευές δίνεται από το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5-5: Δέντρο απόφασης του νοικοκυριού για τις υπηρεσίες των ηλεκτρικών συσκευών

Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής καλείται να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει νέες ή παλιές συσκευές δεδομένου της ζήτησης για αυτή την δραστηριότητα ($EIAp_{r,t}$). Έτσι, δεδομένου του συνόλου των παλιών συσκευών και της ζήτησης που μπορούν να ικανοποιήσουν αυτές, η ζήτηση που ικανοποιείται από νέες συσκευές ($NewEIAp_{r,t}$) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NewEIAp_{r,t} = EIAp_{r,t} - \sum_{enapdg} EnAp_{old,enapdg,r,t}$$

Όπου:

$NewEIAp_{r,t}$: η ζήτηση που ικανοποιείται από νέες συσκευές,

$EIAp_{old,enapdg,r,t}$: η ζήτηση που ικανοποιείται από νέες συσκευές ανά τύπο ($enapdg$) συσκευής.

Η ζήτηση για την δραστηριότητα που παρέχουν οι νέες ηλεκτρικές συσκευές αποτελείται από δύο ειδών τεχνολογίες ταξινομημένες ανάλογα με την ενεργειακή κλάση στην οποία ανήκουν. Στο μοντέλο υπάρχουν δύο ενεργειακές κλάσεις: A ενεργειακή κλάση (η οποία χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία) και B ενεργειακή κλάση (η οποία χρησιμοποιεί συμβατική τεχνολογία).

Οι σχέσεις που προκύπτουν για το κόστος αγοράς και χρήσης είναι αντίστοιχες με αυτές της προηγούμενης παραγράφου. Ένας ενδεικτικός πίνακας σταθερών συντελεστών για την 3^η κατηγορία της ενέργειας των νοικοκυριών δίνεται ακολούθως:

Πίνακας 5-5: Πίνακας σταθερών συντελεστών της κατανάλωσης κατά σκοπό και κατά προϊόν (για την 3^η κατηγορία)

	Ιδιωτικές μεταφορές (αυτοκίνητα)			
	Αγορά		Χρήση	
	Αγορά συμβατικής συσκευής	Αγορά συσκευής προηγμένης τεχνολογίας	Χρήση συμβατικής συσκευής	Χρήση συσκευής προηγμένης τεχνολογίας
	16a	16b	17a	17b
Ηλεκτρισμός			100	100
Συμβατικές συσκευές	100			
Συσκευές προηγμένης τεχνολογίας		100		
Συνολικά	100	100	100	100

Πίνακας 5-6: Όλες οι κατηγορίες κατανάλωσης (ανά σκοπό) του νοικοκυριού

sFN	Όλα τα καταναλωτικά αγαθά του νοικοκυριού (ανά σκοπό)
01	Φαγητό
02	Ένδυση
03	Σπίτια
05	Έπιπλα
07	Ιατροφαρμακευτική περίθαλψη
11	Τηλεπικοινωνίες
12	Υπηρεσίες αναψυχής
13	Άλλες υπηρεσίες
14	Εκπαίδευση
Mobil	Μετακίνηση
10	Δημόσιες μεταφορές (μέσα μαζικής μεταφοράς)
Vehicles	Ιδιωτικές μεταφορές (αυτοκίνητα)
08	Αγορά αυτοκινήτου
08a	Αγορά συμβατικού αυτοκινήτου
08b	Αγορά υβριδικού αυτοκινήτου (plugin hybrid)
08c	Αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου (pure electric)
09	Χρήση αυτοκινήτου

09a	Χρήση συμβατικού αυτοκινήτου
09b	Χρήση υβριδικού αυτοκινήτου (plugin hybrid)
09c	Χρήση ηλεκτρικού αυτοκινήτου (pure electric)
EnHs	Θέρμανση
15	Κεντρική Θέρμανση (District heating)
EnAp	Ιδιωτική Θέρμανση (Private heating)
06	Αγορά συσκευής
06_bio_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί βιομάζα
06_bio_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί βιομάζα
06_col_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί άνθρακα
06_col_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί άνθρακα
06_oil_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί πετρέλαιο
06_oil_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί πετρέλαιο
06_gas_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο
06_gas_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο
06_ele_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό
06_ele_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό
06_res_a	Αγορά συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες
06_res_b	Αγορά προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες
04	Χρήση συσκευής
04_bio_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί βιομάζα
04_bio_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί βιομάζα
04_col_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί άνθρακα
04_col_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί άνθρακα
04_oil_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί πετρέλαιο
04_oil_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί πετρέλαιο
04_gas_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο
04_gas_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο
04_ele_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό
04_ele_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό
04_res_a	Χρήση συμβατικής συσκευής που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες
04_res_b	Χρήση προηγμένης συσκευής που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες
EIAp	Ηλεκτρικές συσκευές
16	Αγορά Ηλεκτρικής συσκευής
16a	Αγορά συμβατικής Ηλεκτρικής συσκευής
16b	Αγορά προηγμένης Ηλεκτρικής συσκευής
17	Χρήση Ηλεκτρικής συσκευής
17a	Χρήση συμβατικής Ηλεκτρικής συσκευής
17b	Χρήση προηγμένης Ηλεκτρικής συσκευής

5.3. Βιοκαύσιμα και χρήση γης

Η χρήση βιοκαυσίμων αποτελεί μια σημαντική επιλογή για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως στον τομέα των οδικών μεταφορών. Υπάρχουν, ωστόσο, ανησυχίες όσον αναφορά την αειφόρο χρήση της, καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη οι έμμεσες επιπτώσεις της παραγωγής των βιοκαυσίμων στη χρήση γης (Zanchi, Pena, and Bird 2010). Έτσι, η μοντελοποίηση των βιοκαυσίμων σε συνδυασμό με τον περιορισμό της καλλιεργήσιμης γης βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό τον ρεαλισμό του μοντέλου σε ασκήσεις πολιτικής που αφορούν τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Στο μοντέλο GEM-E3-RD, ο γεωργικός τομέας έχει επεκταθεί έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η παραγωγή τροφίμων και η παραγωγή βιο-ενεργειακών εμπορευμάτων. Το μοντέλο περιέχει την βιομάζα: αιθανόλη (biogasoline) και βιοντίζελ (biodiesel) μαζί με τις πρώτες ύλες τους ως ξεχωριστούς τομείς παραγωγής. Τα δεδομένα για τον τρόπο παραγωγής τους βασίζονται σε μελέτη του GTAP των (Taheripour et al. 2007). Η ζήτησή τους αφορά αποκλειστικά τις μεταφορές (τόσο τις ιδιωτικές όσο και τις δημόσιες). Τα βιοκαύσιμα αναμιγνύονται με την βενζίνη και το πετρέλαιο και δημιουργούν ένα τελικό αγαθό, το οποίο αγοράζουν τόσο οι υπηρεσίες μεταφορών όσο και τα νοικοκυριά ως καύσιμο για την μετακίνησή τους. Το διμερές εμπόριο βασίστηκε στην δομή του εμπορίου των πρώτων υλών των βιοκαυσίμων, με περιορισμό τις εισαγωγές και εξαγωγές της κάθε χώρας σε βιοκαύσιμα χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία του αλγορίθμου RAS, ενώ τα δεδομένα για τις εξαγωγές-εισαγωγές κάθε χώρας είναι από την βάση δεδομένων της ENERDATA.

Η χρήση γης είναι ένας παράγοντας περιορισμού (ως φυσικός πόρος στην συνάρτηση παραγωγής με περιορισμένη μέγιστη δυναμική) στους κλάδους του γεωργικού τομέα. Η χρήση γης αποτελεί ένα ξεχωριστό συντελεστή παραγωγής για την οικογένεια των κλάδων του αγροτικού τομέα. Η τιμή αυτού του συντελεστή παραγωγής είναι η δυική τιμή του ακόλουθου περιορισμού, ο οποίος περιγράφει τον περιορισμό της μέγιστης διαθέσιμης γης προς εκμετάλλευση/καλλιέργεια.

$$LAND_{r,t}^{supply} \geq \sum_{agr} LA_{agr,r,t}^{demand} \perp pLand_{r,t} \geq 0$$

Όπου, $LAND_{r,t}^{supply}$ είναι η διαθέσιμη γη για καλλιέργεια για κάθε χώρα, $LAND_{agr,r,t}^{demand}$ η ζήτηση γης για καλλιέργεια στους αγροτικούς τομείς για κάθε χώρα, και $pLand_{r,t}$ είναι το ενοίκιο της χρήσης γης. Η προσφορά της γης αλλάζει στο χρόνο εξωγενώς στο μοντέλο και βασίζεται στις προβλέψεις αύξησης της καλλιεργήσιμης γης.

Με τον περιορισμό αυτό εισαγάγει ο μηχανισμός που οδηγεί σε αύξηση των τιμών της παραγωγής τροφίμων εξαιτίας της αύξησης της ζήτησης των βιοκαυσίμων. Το φαινόμενο που εντοπίζεται λόγω του περιορισμού της διαθέσιμης γης μετριάζεται με την εισαγωγή των βιοκαυσίμων νέας γενιάς (προηγμένα βιοκαύσιμα), τα οποία έχουν διαφορετικό τρόπο παραγωγής από αυτό των συμβατικών και δεν συσχετίζεται με πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τροφίμων. Το προηγμένο βιοντήζελ χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη λιγνοκυτταρική βιομάζα (lignocellulosic biomass feedstock), η οποία δεν ανταγωνίζεται με την παραγωγή τροφίμων. Τα προηγμένα βιοκαύσιμα είναι ακριβότερα από τα συμβατικά αλλά μπορούν να αναμειχθούν σε μεγαλύτερη αναλογία με τα συμβατικά καύσιμα χωρίς να βλάπτουν τον κινητήρα του οχήματος.

Τα προηγμένα βιοκαύσιμα δεν είναι μοντελοποιημένα σαν ξεχωριστός κλάδος στο μοντέλο GEME3-RD, αλλά οι κλάδοι των βιοκαυσίμων παράγουν ένα ομοιογενές αγαθό που αποτελείται από συμβατικά και προηγμένης τεχνολογίας βιοκαύσιμα, η αναλογία τους βασίζεται στο μοντέλο της βιομάζας του PRIMES (P Capros 2013; Tasios et al. 2013). Ο κάθε κλάδος των βιοκαυσίμων (biogasoline, biodiesel) αλλάζει τον τρόπο παραγωγής χρησιμοποιώντας διαφορετική αναλογία πρώτων υλών ανάλογα με το μερίδιο των προηγμένων τεχνολογιών στο μοντέλο του PRIMES. Η δομή παραγωγής των βιοκαυσίμων που χρησιμοποιήθηκε στο GEME3-RD δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-7: Δομή κόστους παραγωγής των βιοκαυσίμων στο μοντέλο GEME3-RD

Κύρια κόστη	Συμβατική		Προηγμένης τεχνολογίας	
	Αιθανόλη	Βιοντήζελ	Αιθανόλη	Βιοντήζελ
Πρώτη ύλη	33%	81%	15%	37%
Ενέργεια	9%	2%	7%	2%
Άλλα	9%	8%	18%	14%
Εργασία	9%	3%	18%	19%
Κεφάλαιο	40%	6%	42%	28%
Συνολικά	100%	100%	100%	100%

5.4. Ηλεκτροπαραγωγή

Στα παραδοσιακά μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας (CGE), η συνάρτηση παραγωγής του κλάδου παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι της μορφής CES, η οποία δεν μπορεί να αναπαραστήσει σημαντικά χαρακτηριστικά του τομέα, μειώνοντας την αξιοπιστία των προσομοιώσεων που σχετίζονται με πολιτικές για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή. Η ανάπτυξη ενός πλαισίου μοντελοποίησης που περιλαμβάνει ισορροπία μιας πολλαπλής αγοράς σε ένα CGE μοντέλο, με συνεπή εκπροσώπηση του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, αποτελεί μία μακροχρόνια πρόκληση.

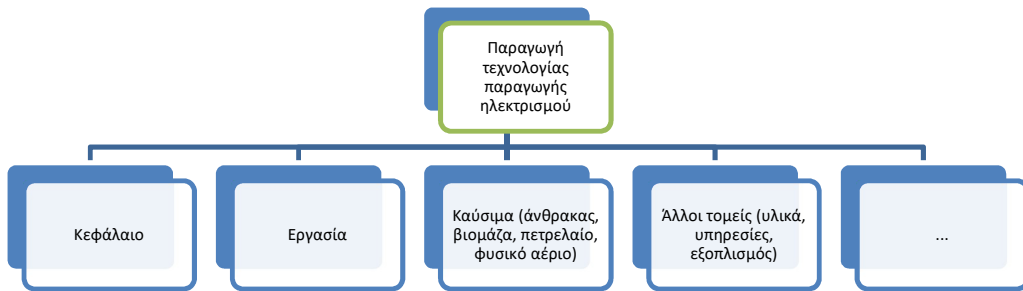
Το μοντέλο GEME3-RD ενσωματώνει με λεπτομέρεια τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστοί κλάδοι στο μοντέλο. Το μοντέλο αναπαριστά τον ανταγωνισμό μεταξύ των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση Weibull, η οποία παρουσιάστηκε στην παράγραφο 5.1.1. Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει το μοντέλο GEME3-RD παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5-8: Κλάδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο μοντέλο GEME3-RD.

No	Περιγραφή	No	Περιγραφή
1	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα	6	Υδροηλεκτρική παραγωγή
2	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση πετρελαίου	7	Παραγωγή αιολικής ενέργειας
3	Ηλεκτροπαραγωγή με καύση φυσικού αερίου	8	Παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά
4	Ηλεκτροπαραγωγή με πυρηνική ενέργεια	9	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO2 με καύση άνθρακα
5	Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα	10	Σταθμοί με δέσμευση και αποθήκευση CO2 με Φυσικό Αέριο

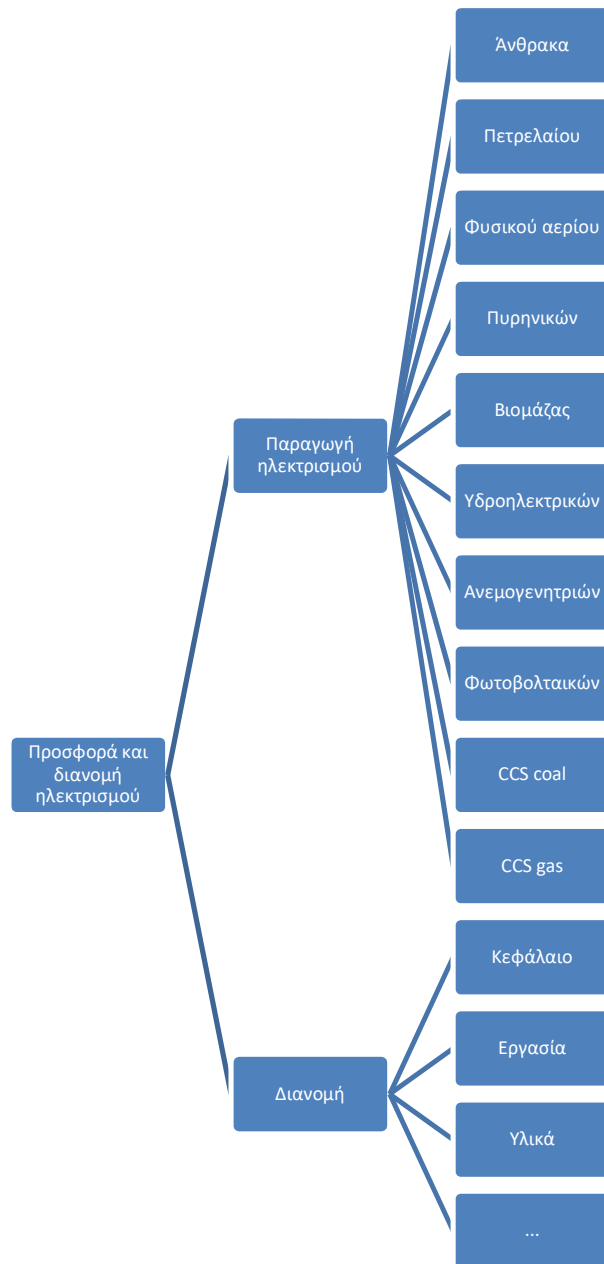
Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν συμπεριλαμβάνονται στην βασική βάση δεδομένων του μοντέλου (GTAP DATA), συνεπώς ο κλάδος ηλεκτροπαραγωγής της βάσης δεδομένων του GTAP διαχωρίστηκε περαιτέρω ώστε να περιλαμβάνει ως ξεχωριστούς κλάδους παραγωγής τις 10 τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού. Για τη δομή του κόστους της κάθε τεχνολογίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για το έτος βάσης από τη βάση του TECHPOL. Για το επίπεδο της ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων Enerdata και PRIMES για το έτος βάσης και για την προέκταση του μοντέλου στο μέλλον χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των μοντέλων PRIMES και PROMETHEUS.

Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε τεχνολογίας εξαρτάται από i) το κόστος των επενδύσεων, ii) το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, iii) το κόστος καυσίμων και iv) την τεχνική πρόοδο που οδηγεί σε μείωση κόστους της εκάστοτε τεχνολογίας ηλεκτροπαραγωγής, η οποία εξαρτάται από τις καμπύλες μάθησης που περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.4. Η συνάρτηση παραγωγής της κάθε τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρισμού είναι της μορφής Leontief και απεικονίζεται στο Σχήμα 5-6.



Σχήμα 5-6: Συνάρτηση παραγωγής των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρισμού

Το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει την επιλογή του μείγματος της ηλεκτροπαραγωγής, είτε ενδογενώς χρησιμοποιώντας την συνάρτηση διακριτής επιλογής Weibull, είτε εξωγενώς, χρησιμοποιώντας ως είσοδό τα αποτελέσματα κάποιου ενεργειακού μοντέλου (για παράδειγμα PRIMES για τις χώρες μέλη της ΕΕ, PROMETHEUS και POLES για τις υπόλοιπες περιοχές του κόσμου).



Σχήμα 5-7: Συνάρτηση παραγωγής Προσφορά και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Το συνολικό κόστος παραγωγής του τομέα που προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια στο μοντέλο αποτελείται από τα εξής δύο στοιχεία: 1) το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και 2) το κόστος που σχετίζεται με το δίκτυο διανομής. Η διάρθρωση της παραγωγικής διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-7. Το πρώτο στάδιο η συνάρτηση παραγωγής είναι της μορφής Leontief (μεταξύ

διανομής και παραγωγής ηλεκτρισμού), ενώ σε δεύτερο στάδιο η απόφαση για το μείγμα εισροών που απαιτούνται για την διανομή του ηλεκτρισμού (Κεφάλαιο, εργασία, κ.α.) μοντελοποιείται με την χρήση μιας CES συνάρτησης και τέλος η απόφαση σχετικά με τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν στην ηλεκτροπαραγωγή προσομοιώνονται με την χρήση μιας συνάρτησης Weibull.

5.5. Εξοικονόμηση ενέργειας

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής αλλά και για την μείωση των εισαγωγών ενέργειας, όλο και περισσότερα κράτη δίνουν σημασία στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την εξάλειψη της σπατάλης ενέργειας. Η ΕΕ το 2007 έθεσε ως στόχο για το 2020 τη μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειάς της κατά 20%. Πέραν, όμως, της επίτευξης ενός βιώσιμου ενεργειακού εφοδιασμού, τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τη βελτίωση της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού και τη μείωση των δαπανών για εισαγωγές ενέργειας, τα μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης μπορούν να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα των χωρών που τα υιοθετούν.

Οι όροι εξοικονόμηση ενέργειας και ενεργειακή απόδοση είναι διαφορετικές, αλλά άμεσα σχετιζόμενες έννοιες. **Εξοικονόμηση Ενέργειας** είναι οποιαδήποτε συμπεριφορά επιτυγχάνει τον περιορισμό της ενεργειακής σπατάλης ή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα, το κλείσιμο των φώτων του δωματίου όταν φεύγουμε και ο περιορισμός της κατανάλωσης ζεστού νερού, είναι συμπεριφορές που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας. **Ενεργειακή Απόδοση** είναι η χρήση τεχνολογίας που παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με λιγότερη ενέργεια, όπως για παράδειγμα η χρήση λαμπτήρων φθορισμού αντί των συνήθων λαμπτήρων πυρακτώσεως, οι οποίοι παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός χρησιμοποιώντας, όμως, λιγότερη ενέργεια. Η απόφαση αντικατάστασης των λαμπτήρων πυρακτώσεων με λαμπτήρες καλύτερης ενεργειακής απόδοσης αποτελεί ένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Με αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς των καταναλωτών στη καθημερινή τους ζωή, με βελτιώσεις και αλλαγές στα κτήρια για μείωση των απωλειών θερμότητας, με χρήση πιο αποδοτικών τεχνολογιών στα νοικοκυριά και στις μεταφορές, με επιλογή προϊόντων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, καθώς και με εισαγωγή νέων τεχνολογιών στη βιομηχανία, εξασφαλίζοντας την παραγωγή προϊόντων με χρήση λιγότερης ενέργειας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στο μοντέλο GEME3-RD επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- 1) Με υποκατάσταση καυσίμων με πιο αποδοτικές επιλογές (για παράδειγμα διείσδυση της ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, αντικαθιστώντας τα προϊόντα πετρελαίου).
- 2) Με υποκατάσταση μεταξύ ενέργειας με άλλες μη ενεργειακές εισροές (για παράδειγμα υποκατάσταση ενέργειας με κεφάλαιο, εργασία, υλικά), η οποία επιτυγχάνεται με υποκατάσταση μεταξύ συμβατικών και ενεργειακά προηγμένων τεχνολογιών.
- 3) Με επιβολή φόρου άνθρακα (carbon tax), που οδηγεί στην μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- 4) Με δαπάνη σε E&A με σκοπό την δημιουργία καινοτόμων προϊόντων και διαδικασιών που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας.
- 5) Με μόνωση των κτηρίων και σπιτιών (όσο αναφορά τις απαιτήσεις σε ψύξη/θέρμανση) ή με έργα υποδομής (όσο αναφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές, κατασκευάζοντας καλύτερους σιδηρόδρομους ή επεκτείνοντας γραμμές του μετρό, ή κατασκευάζοντας νέα λιμάνια κ.α.).

Οι δύο πρώτοι μηχανισμοί περιγράφονται λεπτομερώς στις παραγράφους 1145.1 και 5.2. Η επιβολή ισχυρών πολιτικών για το κλίμα η οποία συνοδεύεται, είτε με υψηλή τιμολόγηση του των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (μηχανισμός 3), είτε με αντικατάσταση των συμβατικών με προηγμένες τεχνολογίες, αυξάνει το κόστος ανά μονάδα ενέργειας και συνεπώς αυξάνεται η υποκατάσταση μεταξύ ενέργειας και άλλων παραγόντων (μηχανισμός 2). Η αύξηση των τιμών της ενέργειας, οδηγεί στην αύξηση της ζήτησης για ενεργειακές καινοτομίες (μηχανισμός 4, έχει περιγραφεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4). Η παρούσα υποενότητα πραγματεύεται την τελευταία περίπτωση.

5.5.1. Μοντελοποίηση των επενδύσεων για εξοικονόμηση ενέργειας

Οι επενδύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας έχουν τις εξής δύο συνέπειες βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα για το οικονομικό σύστημα:

- I. Βραχυπρόθεσμα η επίδραση στην ζήτηση αναλύεται σε:
 - a. Αύξηση της ζήτησης σε αγαθά άμεσα συσχετιζόμενα με τις επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

- b. Μείωση της ζήτησης για άλλα επενδυτικά αγαθά τα οποία δεν εμπλέκονται με την εξοικονόμηση ενέργειας, εφόσον οι πηγές χρηματοδότησης για την εξοικονόμηση ενέργειας προέρχονται από ίδια κεφάλαια (crowding-out effect).
- II. Μακροπρόθεσμα η επίδραση προέρχεται από την μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση των προηγμένων τεχνολογιών που μεταφράζεται σε χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις των νοικοκυριών και επιχειρήσεων που υιοθετούν τις τεχνολογίες αυτές.

Η γενική ιδέα της μοντελοποίησης της εξοικονόμησης που αφορά τις κατηγορίες (dur): βελτίωση και αλλαγές στα σπίτια και κτίρια για μείωση των απωλειών θερμότητας, αγορά προηγμένου εξοπλισμού στον τομέα των μεταφορών (εξαιρουμένων των ιδιωτικών αυτοκινήτων) και κατασκευή υποδομών που βοηθήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας παρουσιάζεται ακολούθως⁴⁷:

Το κόστος της υπηρεσίας του διαρκούς αγαθού ($pACT_{dur,r,t}$) αποτελείται από το κόστος αγοράς και το κόστος χρήσης του ($pCOST_{dur,r,t}$) συν το κόστος εξοικονόμησης ($pEFFI_{j,r,t}$).

$$pACT_{dur,r,t} = pCOST_{dur,r,t}(1 - aEFFI_{dur,r,t}) + pEFFI_{j,r,t} \cdot f(aEFFI_{dur,r,t})$$

Όπου ($aEFFI_{dur,r,t}$) είναι το ποσοστό της εξοικονόμησης που πραγματοποιείται. Για την κατασκευή της υπηρεσίας εξοικονόμησης (βελτίωση στα σπίτια για μείωση των απωλειών θερμότητας και αύξηση της θερμικής μόνωσης), ζητούνται επενδυτικά αγαθά/υπηρεσίες (πχ από τον κλάδο των αγαθών εξοπλισμού, τον κλάδο κατασκευών κ.α.). Στο μοντέλο υποθέτουμε ότι τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται σε σταθερές αναλογίες. Ως εκ τούτου, το μοναδιαίο κόστος της υπηρεσίας εξοικονόμησης υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος του μοναδιαίου κόστους των επενδυτικών αγαθών.

$$pEFFI_{dur,r,t} = \sum_i tEFFI_{i,dur,r,t} \cdot pY_{i,r,t} \cdot (1 + txs_{i,r,t} - txsub_{i,r,t})$$

Όπου ($tEFFI$) είναι οι τεχνικοί συντελεστές για την κατασκευή του αγαθού εξοικονόμησης, οι οποίοι αναπαριστούν την δομή του κόστους της επένδυσης για εξοικονόμηση, (pY) αντιπροσωπεύει το μοναδιαίο κόστος του σύνθετου αγαθού⁴⁸,

⁴⁷ Για απλοποίηση της παρουσίασης θα αναφερθούμε στην κατηγορία εξοικονόμησης ενέργειας που αφορά βελτίωση και αλλαγές στα σπίτια για μείωση των απωλειών θερμότητας; ίδια τεχνική εφαρμογή και στις άλλες κατηγορίες εξοικονόμησης.

⁴⁸ Το τελικό αγαθό που καταναλώνεται στην κάθε περιοχή είναι ένα σύνθετο αγαθό το οποίο αποτελείται από εγχώρια και εισαγόμενα αγαθά.

(txs) είναι ο έμμεσος φόρος και ($tx_{i,r,t}$) είναι οι επιδοτήσεις. Ο δείκτης (i) αντιπροσωπεύει τα επενδυτικά αγαθά (κλάδος κατασκευών, εξοπλισμός). $f()$ είναι η συνάρτηση (καμπύλη) που συνδέει το ποσοστό εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται, με την συνολικό κόστος της επένδυσης για εξοικονόμηση (**EFFINVV**). Εφαρμόζοντας τους τεχνικούς συντελεστές στο συνολικό κόστος της εξοικονόμησης, λαμβάνουμε την ζήτηση για επενδυτικά αγαθά. Η καμπύλη κόστους εξοικονόμησης ενέργειας έχει προσαρμοστεί (calibrated) στο ενεργειακό μοντέλο PRIMES. Τα χαρακτηριστικά των καμπυλών κόστους εξοικονόμησης ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ύπαρξη άνω ορίου, όσον αφορά την βελτίωση την εξοικονόμησης ενέργειας, το οποίο είναι διαφορετικό ανά τομέα και περιοχή.
- 2) Χαμηλό κόστος των πρώτων διαθέσιμων επιλογών για εξοικονόμηση.
- 3) Αρνητικές αποδόσεις κλίμακας, καθώς όσο αυξάνεται η προσπάθεια για ενεργειακή εξοικονόμηση και πλησιάζει τη συνολική δυνατότητα εξοικονόμησης (potential), το κόστος για εξοικονόμηση αυξάνεται μη γραμμικά.

Κεφάλαιο 6

6. Ενσωμάτωση της αγοράς χρήματος σε ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η επέκταση του μοντέλου GEME3 που αφορά στην ενσωμάτωση της αγοράς χρήματος.

6.1. Η σημασία της ενσωμάτωσης της αγοράς χρήματος σε ένα μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας

Στα παραδοσιακά μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας όλες οι αποταμιεύσεις εξαντλούνται στην χρηματοδότηση των επενδύσεων ($S=I$, μακροοικονομικό κλείσιμο). Τη χρονική στιγμή t , για την χρηματοδότηση οποιουδήποτε εναλλακτικού επενδυτικού σχεδίου απαιτείται, είτε μείωση της κατανάλωσης (αυξάνοντας την αποταμίευση), είτε μείωση άλλων επενδυτικών σχεδίων (δεδομένου των πεπερασμένων κεφαλαιακών πόρων).

Στα μοντέλα γενικής ισορροπίας δεν είχε εισαχθεί η αναπαράσταση του χρηματοοικονομικού τομέα εξ' αιτίας της υπόθεσης της ουδετερότητας του χρήματος. Σύμφωνα με την κλασική διχοτόμηση (Hume 1889) η μεταβολή της προσφοράς του χρήματος επηρεάζει μόνο τις ονομαστικές τιμές και όχι τις πραγματικές. Η πρόσφατη χρηματοοικονομική κρίση έδειξε πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος του χρηματοοικονομικού τομέα στην πραγματική οικονομία. Η έλλειψη του χρηματοπιστωτικού τομέα σε ένα μοντέλο CGE έχει τις ακόλουθες συνέπειες: 1) Το χρέος δεν έχει αντίκτυπο στην πραγματική οικονομία. Η έννοια της βιωσιμότητας του χρέους δεν υπάρχει και οι οικονομικοί παράγοντες μπορούν να δανείζονται συνεχώς σε πολύ χαμηλά επιτόκια. 2) Υπάρχει ακαριαία εξισορρόπηση των επενδύσεων με τις αποταμιεύσεις χωρίς να υπάρχει περιθώριο ομαλής προσαρμογής/μετάβασης στο χρόνο. Αυτό προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις την περίοδο που λαμβάνουν χώρα οι επενδύσεις στην οικονομία και αποδίδει τα θετικά οικονομικά οφέλη στην μεταγενέστερη χρονική περίοδο (δηλαδή μετά την χρονική περίοδο που λαμβάνουν χώρα οι επενδύσεις)⁴⁹. 3) Δεν υπάρχει διάκριση των

⁴⁹ Για παράδειγμα, έστω ότι γίνονται επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας την χρονική περίοδο t . Την χρονική στιγμή t που λαμβάνουν χώρα οι επενδύσεις εξοικονόμησης υπάρχει αυξημένη ζήτηση για κεφάλαια, με αποτέλεσμα τα επιτόκια να αυξάνονται. Την χρονική στιγμή $t+1$ έχουν ολοκληρωθεί οι επενδύσεις εξοικονόμησης και αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας της

συνθηκών χρηματοδότησης ανά οικονομικό παράγοντα και ανά χώρα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προσομοιώσει με ρεαλισμό τις επενδυτικές αποφάσεις.

Για τους παραπάνω λόγους η ενσωμάτωση του χρηματοπιστωτικού τομέα κρίνεται απαραίτητη. Η προτεινόμενη μοντελοποίηση βελτιώνει την ικανότητα προσομοίωσης του μοντέλου γενικής ισορροπίας στα ακόλουθα σημεία: 1) Καλύτερη αναπαράσταση του διαθέσιμου εισοδήματος κάθε οικονομικού παράγοντα. 2) Λαμβάνοντας υπόψη το έλλειμμα/πλεόνασμα κάθε οικονομικού παράγοντα υπολογίζονται ενδογενώς τα επιτόκια για όλα τα χρηματοοικονομικά προϊόντα (καταθέσεις, κρατικά ομόλογα, ομόλογα επιχειρήσεων, δάνεια νοικοκυριών, κλπ.). 3) Εξασφαλίζοντας αποπληρωμή των δανείων σε εκτενή χρονική περίοδο μετριάζονται τόσο οι αρνητικές επιπτώσεις της μεγάλης ζήτησης ρευστότητας την περίοδο που λαμβάνουν χώρα οι επενδύσεις, όσο και οι θετικές επιδράσεις μετά το πέρας των επενδύσεων. 4) Η διαθεσιμότητα του εισοδήματος ανά οικονομικό παράγοντα προσαρμόζεται ανάλογα με την συμπεριφορά δανεισμού. Η δυνατότητα δανεισμού εξαρτάται από το συσσωρευμένο χρέος και τις υποθέσεις για μόχλευση. Έτσι, η προσφορά και ζήτηση ρευστότητας (είτε αυτή προέρχεται από τις καταθέσεις, είτε από τα ομόλογα, είτε από άλλα χρεόγραφα) καθορίζουν τα επιτόκια ή/και τις συναλλαγματικές ισοτιμίες.

6.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ένα σχετικά νέο χαρακτηριστικό των μοντέλων FCGE⁵⁰ (Financial Computable General Equilibrium) είναι η αναπαράσταση των αγορών κεφαλαίων, με διαφορετικά περιουσιακά στοιχεία, που περιλαμβάνει νόμισμα, καταθέσεις όψεως, προθεσμιακές καταθέσεις, δημόσιο χρέος, εγχώρια ομόλογα, ξένα ομόλογα, μετοχές, πραγματικό κεφάλαιο και κεφάλαιο κίνησης (Robinson 1991), τα οποία είναι ατελή υποκατάστατα. Το χαρακτηριστικό αυτό δεν έχει ακόμα ενσωματωθεί σε εφαρμοσμένα μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας. Αυτά τα μοντέλα με ενσωματωμένη την αγορά χρήματος έχουν σχεδιαστεί για να αναλύουν βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες οικονομικές επιδράσεις στην κατανομή εισοδήματος στις αναπτυσσόμενες οικονομίες προγραμμαμάτων διαρθρωτικής προσαρμογής και σταθεροποίησης που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση απότομων μακροοικονομικών μεταβολών, για παράδειγμα αυξημένες τιμές του

ενέργειας και ως εκ' τούτου αναμένεται αύξηση στο ΑΕΠ δεδομένου ότι το χρέος που δημιουργήθηκε την περίοδο t δεν λαμβάνεται υπόψη τις επόμενες περιόδους.

⁵⁰ FCGE είναι τα μοντέλα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας με ενσωματωμένη την αγορά του χρήματος

πετρελαίου, μειωμένη διαθεσιμότητα εξωτερικού δανεισμού, και άλλων, καθώς επίσης για την μελέτη πολιτικών σταθεροποίησης της οικονομίας και μείωσης των κρατικών ελλειμμάτων (Bourguignon, Branson, and Melo 1989; Bourguignon, De Melo, and Suwa 1991; Pantelis Capros and Karadeloglou 1993; Easterly 1990; Fargeix and Sadoulet 1990; Khan and others 2007; Lewis 1992; Liu et al. 2015; Mansury 2002; Naastepad 2002; Rosensweig and Taylor 1990; Thissen and Lensink 2001; Yeldan 1997).

Η πρώτη σημαντική προσπάθεια ενσωμάτωσης του χρήματος σε ένα υπόδειγμα γενικής ισορροπίας έγινε από την εργασία των (Bourguignon, Branson, and Melo 1989), καθώς και η επέκτασή της από τους (Fargeix and Sadoulet 1990). Στην εργασία τους χρησιμοποίησαν τα χαρακτηριστικά του υποδείγματος IS-LM (Branson 1979; Tobin 1969) ως επιλογή κλεισίματος ενός μοντέλου γενικής ισορροπίας. Στο υπόδειγμά τους υπάρχουν συναλλαγές χρηματοοικονομικών προϊόντων, οι τιμές των οποίων υπολογίζονται ενδογενώς στο μοντέλο μέσω αγορών προσφοράς και ζήτησης. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει ένα παράδειγμα του πίνακα κοινωνικής λογιστικής (SAM) σε ένα FCGE μοντέλο, το οποίο πέρα από τις τρέχουσες συναλλαγές (current accounts) που περιλαμβάνει ένα παραδοσιακό CGE μοντέλο, περιλαμβάνει και τις συναλλαγές κεφαλαίων (capital accounts).

Πίνακας 6-1: Παράδειγμα πίνακα κοινωνικής λογιστικής σε ένα υπόδειγμα FCGE

		Τρέχουσες συναλλαγές	Συναλλαγές Κεφαλαίων (Capital accounts)				Μεταβολές στο ενεργητικό (assets)					
			Επιχειρήσεις	Νοικοκυριά	Κυβέρνηση	Υπόλοιπος κόσμος	Capital goods	Περιουσιακό στοιχείο (Equity)	Χρήμα	Καταθέσεις εσωτερικού	Καταθέσεις εξωτερικού	
Τρέχουσες συναλλαγές		<i>SAM</i>					<i>INVV</i>					
Συναλλαγές Κεφαλαίων (Capital accounts)	Επιχειρήσεις	S_f					$-ΔEQ$	$ΔEQ$			$ΔBD_f$	$ΔBF_f$
	Νοικοκυριά	S_h										
	Κυβέρνηση	S_g							$-ΔCU$	$ΔBD_g$	$ΔBF_g$	
	Υπόλοιπος κόσμος	<i>BOT</i>										
Μεταβολές στο παθητικό (liabilities)	Capital goods		$ΔKAV$	$-ΔEQ_h$	$-ΔEQ_g$							
	Περιουσιακό στοιχείο (Equity)			$ΔEQ_h$	$ΔEQ_g$							
	Χρήμα		$-ΔCU_f$	$ΔCU_h$								
	Καταθέσεις εσωτερικού			$ΔTD_h$								

	Καταθέσεις εξωτερικού			ΔF_h	ΔFF	ΔNFD					
Συνολικά		SAM+Αποταμιεύσεις	Μεταβολές στον πλούτο	Μεταβολές στον πλούτο	Μεταβολές στον πλούτο	Μεταβολές στον πλούτο	0	Νέο περιουσιακό στοιχείο (equity)	Νέο χρήμα	Νέος δανεισμός	Νέος δανεισμός
Δ = Μεταβολή g = Κυβέρνηση h = Νοικοκυριό f = Επιχειρήσεις			SAM= Πίνακας κοινωνικής λογιστικής INVV= Πραγματικές επενδύσεις S= Αποταμιεύσεις BOT= Balance of trade (GOODS + NFS) KAV= Απόθεμα κεφαλαίου (Capital Stock) EQ= Περιουσιακό στοιχείο (Equity) CU= Νόμισμα				TD= καταθέσεις προθεσμίας F= Ξένο συνάλλαγμα (Foreign exchange) FF= Αποθεματικά σε ξένο νόμισμα (Foreign currency reserves) NFD= Καθαρή θέση ξένων καταθέσεων (Net foreign deposits) BD= Εγχώριος δανεισμός BF= Δανεισμός από το εξωτερικό				

Η βασική ιδέα είναι ότι κάθε ελλειμματικός οικονομικός παράγοντας (νοικοκυριά, κυβέρνηση, επιχειρήσεις και υπόλοιπος κόσμος) μπορεί να δανειστεί μέσω των κεφαλαιαγορών που ανήκει, και να επιστρέψει το δάνειο με προκαθορισμένο επιτόκιο το οποίο υπολογίζεται ενδογενώς. Οι πλεονασματικοί οικονομικοί παράγοντες έχουν ένα χαρτοφυλάκιο από χρηματοοικονομικά προϊόντα τα οποία είναι ατελώς υποκαταστάσιμα μεταξύ τους (εξαιτίας του διαφορετικού ρίσκου, της απόδοσης, της διάρκειας και άλλων χαρακτηριστικών), στο οποίο επιθυμούν να επιλέξουν βέλτιστα την κατανομή των χρηματοοικονομικών προϊόντων μεγιστοποιώντας τον πλούτο τους. Έτσι υπάρχει προσφορά «χρήματος» και ζήτηση «χρήματος» για κάθε αγορά και ένα επιτόκιο ισορροπίας στο οποίο γίνεται η εκκαθάρισή της.

Για την κατανόηση του προβλήματος εξετάζουμε ένα απλό υπόδειγμα στο οποίο υπάρχουν τέσσερις οικονομικοί παράγοντες (νοικοκυριά, επιχειρήσεις, κυβέρνηση και υπόλοιπος κόσμος); παρόμοια προσέγγιση ακολουθήθηκε από τους (Bourguignon, Branson, and Melo 1989; Pantelis Capros and Karadeloglou 1993; Fargeix and Sadoulet 1990). Τα νοικοκυριά είναι ταυτόχρονα εργαζόμενοι των επιχειρήσεων αλλά και ιδιοκτήτες, έτσι το εισόδημα τους (Y) προέρχεται από την αμοιβή εργασίας (L) και από την αμοιβή κεφαλαίου (K). Το εισόδημα του δημοσίου τομέα είναι οι φόροι (T) και το εισόδημα του υπόλοιπου κόσμου είναι οι εισαγωγές (M) της χώρας από τον υπόλοιπο κόσμο. Όσο αφορά την τελική ζήτηση, τα νοικοκυριά καταναλώνουν C (ιδιωτική κατανάλωση), ο δημόσιος τομέας G (δημόσια κατανάλωση), οι επιχειρήσεις I (ιδιωτικές επενδύσεις), και ο υπόλοιπος κόσμος X (εξαγωγές της χώρας στον υπόλοιπο κόσμο). Από την εθνικολογιστική ταυτότητα σε μια ανοικτή οικονομία έχουμε το εξής:

$$C + I + G + (X - M) = K + L + T = Y + T$$

Τα νοικοκυριά μέρος του εισοδήματός τους το καταναλώνουν και το υπόλοιπο το αποταμιεύουν (S), άρα ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$Y = C + S$$

Οπότε η παραπάνω σχέση απαλείφοντας την ιδιωτική κατανάλωση και από τα δύο μέλη της εξίσωσης μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$-(G - T) + (S - I) - (X - M) = 0$$

Αυτή η σχέση η οποία λέγεται εξίσωση ισορροπίας ροής κεφαλαίων, μπορεί να ερμηνευθεί και ως κλείσιμο του Walras. Η εξίσωση αυτή αποτελείται από τρεις ταυτότητες:

- 1) Την ταυτότητα του ισοζυγίου πληρωμών:

$$X - M = E_x \cdot (\Delta A_f + \Delta B_R - \Delta B_f)$$

Όταν η παραγωγή μιας χώρας είναι μεγαλύτερη από την δαπάνη της για αγαθά και υπηρεσίες (ή οι εξαγωγές μεγαλύτερες από τις εισαγωγές), τότε η χώρα έχει πλεόνασμα, στην αντίθετη περίπτωση έχει έλλειμμα. Το αριστερό μέλος της εξίσωσης αφορά στην πραγματική οικονομία, ενώ το δεξιό μέλος αφορά στην χρηματοδότηση του ελλείματος/πλεονάσματος κάθε οικονομικού παράγοντα. Υποθέτουμε ότι η χρηματοδότηση του ελλείματος (ή πλεονάσματος) προκύπτει από την μεταβολή των καθαρών ξένων περιουσιακών στοιχείων A_f , την μεταβολή των τραπεζικών διαθεσίμων B_R και τον εξωτερικό δανεισμό B_f προσαρμοσμένα με την συναλλαγματική ισοτιμία E_x .

- 2) Την ταυτότητα του δημόσιου προϋπολογισμού:

$$G - T = \Delta B_g + \Delta P_g + E_x \cdot \Delta B_f$$

Όταν η κυβέρνηση δαπανά περισσότερα από τα έσοδά της τότε δημιουργεί δημοσιονομικό έλλειμμα, σε αντίθετη περίπτωση έχει πλεόνασμα. Υποθέτουμε ότι το έλλειμμα/πλεόνασμα του κράτους προκύπτει από την μεταβολή του κρατικού δανεισμού από τράπεζες B_g , του ιδιωτικού δανεισμού P_g και του δανεισμού από το εξωτερικό B_f .

- 3) Την ισότητα αποταμίευσης-επενδύσεων:

$$S - I = \Delta M_s + \Delta P_g + E_x \cdot \Delta A_f - \Delta B_p$$

Η προσφορά δανειακών κεφαλαίων προέρχεται από εκείνους που έχουν πλεόνασμα εισοδήματος, το οποίο θέλουν να αποταμιεύσουν και να το δανείσουν. Η ζήτηση προέρχεται από τα νοικοκυριά και επιχειρήσεις που θέλουν να δανειστούν για να κάνουν επενδύσεις. Η ισότητα αυτή που χρησιμοποιείται για το κλείσιμο των CGE υποδειγμάτων, στην προκειμένη περίπτωση επεκτείνεται ούτως ώστε η διαφορά μεταξύ αποταμίευσης και επένδυσης να χρηματοδοτείται από αλλαγές στην προσφορά χρήματος M_s , από την μεταβολή του ιδιωτικού δανεισμού από τον δημόσιο τομέα P_g , την

μεταβολή των καθαρών ξένων περιουσιακών στοιχείων A_f , και από την μεταβολή του ιδιωτικού δανεισμού από τράπεζες B_p .

Αντικαθιστώντας στην ταυτότητα ισορροπίας ροής κεφαλαίων προκύπτει:

$$-(\Delta B_g + \Delta P_g + E_x \cdot \Delta B_f) + (\Delta M_s + \Delta P_g + E_x \cdot \Delta A_f - \Delta B_p) - E_x \cdot (\Delta A_f + \Delta B_R + \Delta B_f) = 0$$

Και

$$\Delta M_s = \Delta B_p + \Delta B_g + E_x \cdot \Delta B_R$$

Η τελευταία ταυτότητα αποτελεί την νομισματική ταυτότητα, η οποία χρησιμοποιείται ως κανόνας κλεισίματος του υποδείγματος. Σε αυτήν την περίπτωση το χρήμα αποτελεί τον φυσικό numeraire⁵¹ του υποδείγματος.

6.3. Μοντελοποίηση στο GEME3

Το GEME3 έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει την αναπαράσταση του χρηματοπιστωτικού τομέα και τους δεσμούς του με την πραγματική οικονομία. Το μοντέλο βασίζεται στις εργασίες του (Bourguignon, Branson, and Melo 1989; Pantelis Capros and Karadeloglou 1993; Fargeix and Sadoulet 1990). Η κύρια πρωτοτυπία αυτής της επέκτασης είναι ότι για πρώτη φορά γίνεται η εισαγωγή του χρηματοπιστωτικού τομέα σε ένα αναλυτικό και εφαρμοσμένο μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας. Συγκεκριμένα το μοντέλο GEME3-FIN είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο το οποίο καλύπτει όλες τις χώρες του κόσμου σε 38 περιοχές, σε αντίθεση με την πλειοψηφία των μοντέλων FCGE στην βιβλιογραφία που είτε αφορούν μόνο μια χώρα (Bourguignon, Branson, and Melo 1989; Bourguignon, De Melo, and Suwa 1991; Pantelis Capros and Karadeloglou 1993; Easterly 1990; Fargeix and Sadoulet 1990; Khan and others 2007; Lewis 1992; Liu et al. 2015; Mansury 2002; Naastepad 2002; Rosensweig and Taylor 1990; Thissen and Lensink 2001; Yeldan 1997), είτε είναι μικρής κλίμακας είτε μικρής ανάλυσης αυτά που καλύπτουν όλο τον κόσμο (βλέπε PEP-w-t-fin2 model των (Andre Lemelin, Robichaud, and Decaluwe 2013); GTAP-Dyn model των (Ianchovichina and McDougall 2001); το μοντέλο της παγκόσμιας τράπεζας LINKAGE model του (der Mensbrugge 2005); το μοντέλο MIRAGE των (André Lemelin and others 2009)).

⁵¹ Η τιμή του αγαθού σε σχέση με την οποία εκφράζονται οι τιμές όλων των υπολοίπων αγαθών της οικονομίας.

Στο μοντέλο GEME3-FIN υπάρχουν πέντε οικονομικοί παράγοντες: νοικοκυριά, επιχειρήσεις, δημόσιος τομέας, υπόλοιπος κόσμος και ενοποιημένο το τραπεζικό σύστημα ως μια παγκόσμια τράπεζα. Η «παγκόσμια» τράπεζα εκκαθαρίζει τις αγορές. Υπάρχει μία αγορά σε κάθε περιοχή του μοντέλου, η «παγκόσμια τράπεζα» τοποθετεί βέλτιστα τα χρήματα των πλεονασματικών στις αγορές κάθε περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη το επιτόκιο δανεισμού της κάθε περιοχής. Η συμπεριφορά των οικονομικών παραγόντων (η ζήτηση/προσφορά χρήματος) καθορίζεται από ένα μοντέλο χαρτοφυλακίου, το οποίο βασίζεται στη μεγιστοποίηση της αναμενόμενης χρησιμότητας. Το μοντέλο αναπαριστά τον οικονομικό πλούτο σε διάφορα χρηματοοικονομικά προϊόντα, τα οποία κατέχουν στο ενεργητικό τους οι οικονομικοί παράγοντες. Η κατανομή των χρηματοοικονομικών προϊόντων γίνεται με βάση την αναμενόμενη απόδοση, το ρίσκο, και άλλους καθοριστικούς παράγοντες (Van Erp et al. 1989). Η συναρτησιακή μορφή που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της κατανομής των χρηματοοικονομικών προϊόντων του χαρτοφυλακίου κάθε οικονομικού παράγοντα είναι η συνάρτηση Weibull (βλέπε περισσότερα για την συνάρτηση Weibull στην παράγραφο 5.1.1 σελίδα 116). Μια απλοποιημένη μορφή του πίνακα ρών των κεφαλαιακών προϊόντων (ενεργητικό και παθητικό κάθε οικονομικού παράγοντα) δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-2: Πίνακας ρών των κεφαλαιακών προϊόντων

<u>Ενεργητικό (Assets)</u>		<u>Παθητικό (Liabilities)</u>	
	<u>Δημόσιος Τομέας</u>		
Μετοχές		Εγχώριος Δανεισμός	
Καταθέσεις		Ξένος δανεισμός (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)	
		Συσσωρευμένη αποταμίευση	
	<u>Επιχειρήσεις</u>		
Κεφάλαιο κίνησης (working capital)		Εγχώριος Δανεισμός	
Καταθέσεις		Ξένος δανεισμός (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)	
		Συσσωρευμένη αποταμίευση	
	<u>Νοικοκυριά</u>		
Μετοχές		Δάνεια από εγχώριες τράπεζες	

Καταθέσεις		Δάνεια από ξένες τράπεζες (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)	
Καταθέσεις προθεσμίας		Συσσωρευμένη αποταμίευση	
Καταθέσεις εξωτερικού (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)			
Εγχώρια κρατικά ομόλογα			
Εγχώρια ομόλογα επιχειρήσεων			
Ξένα κρατικά ομόλογα (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)			
Ξένα ομόλογα επιχειρήσεων (μέσω της παγκόσμιας τράπεζας)			
Δανεισμός από το εξωτερικό	<u>Υπόλοιπος κόσμος</u>	Δανεισμός στο εξωτερικό	
		Συσσωρευμένη αποταμίευση	
	<u>Παγκόσμια τράπεζα</u>		
Δάνεια		Καταθέσεις	

Το μοντέλο επικεντρώνεται στα ελλείμματα/πλεονάσματα κάθε οικονομικού παράγοντα και πώς αυτά επηρεάζουν τα επιτόκια και κατά συνέπεια την πραγματική οικονομία. Έτσι έχουν γίνει μια σειρά από απλοποιήσεις, οι οποίες δίνονται ακολούθως:

- Στο μοντέλο δεν υπάρχει δευτερογενή αγορά μετοχών. Οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων ανάλογα με το ύψος του τρέχοντος επιτοκίου δανεισμού και την αναμενόμενη απόδοση των μετοχών, αποφασίζουν το ύψος του δανεισμού από ίδια κεφάλαια. Έτσι οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων συνεχίζουν να διακρατούν το ίδιο μερίδιο των επιχειρήσεων.
- Όλες οι τοποθετήσεις χρημάτων από τα πλεονασματικά νοικοκυριά που αφορούν το εξωτερικό γίνονται μέσω της παγκόσμιας τράπεζας. Η παγκόσμια τράπεζα μαζεύει όλες τις τοποθετήσεις χρημάτων από όλες τις χώρες και χρηματοδοτεί όλους τους ελλειμματικούς οικονομικούς παράγοντες του κόσμου. Η παγκόσμια τράπεζα ισοσκελίζει τον προϋπολογισμό της μέσω ενός παγκόσμιου επιτοκίου το οποίο πολλαπλασιάζει όλα τα επιτόκια και εξασφαλίζει το ενεργητικό να είναι ίσο με το παθητικό της παγκόσμιας τράπεζας.

- Τα νοικοκυριά και η παγκόσμια τράπεζα έχουν ένα χαρτοφυλάκιο κεφαλαιακών προϊόντων, η κατανομή του οποίου εξαρτάται από την αναμενόμενη απόδοση και του αναμενόμενου ρίσκου και άλλων εξωτερικών παραμέτρων, όπως και στο μοντέλο του (Parkin 1970).
- Τα χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία που εξετάζονται στο μοντέλο περιλαμβάνουν: Δημόσια ομόλογα, εταιρικά ομόλογα, οικιακά δάνεια, καταθέσεις και προθεσμιακές καταθέσεις, μετοχές.
- Δεν υπάρχει μεταβολή στις συναλλαγματικές ισοτιμίες, όλες οι χώρες έχουν ένα ενιαίο νόμισμα το δολάριο.
- Η παγκόσμια προσφορά χρήματος είναι σταθερή για κάθε χρονική περίοδο, συνεπώς υπολογίζεται ενδογενώς το παγκόσμιο επιτόκιο. Εναλλακτικά θα μπορούσε η προσφορά χρήματος να είναι ενδογενής στο μοντέλο και το επιτόκιο να δίνεται εξωγενώς.
- Έχει υποτεθεί μια ενιαία αγορά χρήματος εντός κάθε περιοχής του μοντέλου όπου υπάρχει συνολική ζήτηση χρήματος (ζήτηση για δανεισμό) και συνολική προσφορά χρήματος (προσφορά για δανεισμό). Έτσι για κάθε περιοχή του μοντέλου υπολογίζεται ενδογενώς με συνθήκες ισορροπίας αγορών το επιτόκιο που εκκαθαρίζει την αγορά. Το επιτόκιο του κάθε χρηματοοικονομικού προϊόντος συνδέεται με αυτό το επιτόκιο που υπολογίζεται ενδογενώς στο μοντέλο όπως επίσης και με άλλες μεταβλητές όπως είναι το ρίσκο και το ύψος της συναλλαγής. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να αναπαραστήσουμε όλα τα χρηματοοικονομικά προϊόντα ενδογενώς στο μοντέλο χωρίς να έχουμε διαφορετικές αγορές για κάθε αγαθό αλλά καθαρίζοντας τις αγορές μέσω του ενοποιημένου χρηματοπιστωτικού συστήματος (την παγκόσμια τράπεζα).
- Η καθαρή πιστωτική θέση κάθε οικονομικού παράγοντα εξαρτάται από μια σειρά αποφάσεων που υπολογίζονται ενδογενώς στο μοντέλο. Μεταβλητές που αναπαριστούν τα στάδια αποφάσεων είναι το εισόδημα του κάθε οικονομικού παράγοντα, η κατανάλωσή του και τέλος η συνεισφορά του στην χρηματοδότηση των επενδύσεων. Ο υπόλοιπος κόσμος (ROW) μπορεί να δανείσει στις εγχώριες επιχειρήσεις (μέσω ομολόγων) στην κυβέρνηση (μέσω ομολόγων) και στα νοικοκυριά (μέσω δανείων). Τα νοικοκυριά δανείζουν και στις επιχειρήσεις είτε με ίδια κεφάλαια είτε μέσω ομολόγων και στην κυβέρνηση μέσω ομολόγων και καταθέτοντας στην παγκόσμια τράπεζα. Η κυβέρνηση δανείζεται από την παγκόσμια τράπεζα και τα νοικοκυριά. Το ενοποιημένο τραπεζικό σύστημα παίρνει τις καταθέσεις των νοικοκυριών σε πλεόνασμα και δανείζει τις επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά σε έλλειμμα και τις κυβερνήσεις (δηλαδή τα παίρνει από τους πλεονασματικούς και τα δίνει στους ελλειμματικούς καθαρίζοντας τις αγορές). Ο πλούτος των νοικοκυριών

κατανέμεται μεταξύ χρήματος (παγκόσμια τράπεζα μέσω ξένων χρεογράφων κυρίως ομολόγων), μετοχές και δημόσιο χρέος.

6.3.1. Μαθηματική διατύπωση του μοντέλου

Αναδιατυπώνοντας την βασική ταυτότητα του Εθνικού Εισοδήματος για κάθε χώρα του μοντέλου έχουμε τις εξής σχέσεις:

Το εισόδημα του κάθε οικονομικού παράγοντα μείον την τελική του κατανάλωση είναι ίσο με την χρηματοδότηση των επενδύσεων:

$$\begin{aligned} (Inc_{h,r,t} - FC_{h,r,t}) + (Inc_{g,r,t} - FC_{g,r,t}) + (Inc_{f,r,t} - FC_{f,r,t}) + (Inc_{row,r,t} - FC_{row,r,t}) \\ = INV_{h,r,t} + INV_{g,r,t} + INV_{f,r,t} + INV_{row,r,t} \end{aligned}$$

Ή διαφορετικά οι συνολικές αποταμιεύσεις είναι ίσες με την χρηματοδότηση των επενδύσεων:

$$Save_{h,r,t} + Save_{g,r,t} + Save_{f,r,t} + Save_{row,r,t} = INV_{h,r,t} + INV_{g,r,t} + INV_{f,r,t} + INV_{row,r,t}$$

Φέρνοντας στο πρώτο μέλος τις χρηματοδοτήσεις των επενδύσεων έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} (Save_{h,r,t} - INV_{h,r,t}) + (Save_{g,r,t} - INV_{g,r,t}) + (Save_{f,r,t} - INV_{f,r,t}) + (Save_{row,r,t} - INV_{row,r,t}) \\ = 0 \end{aligned}$$

Η οποία καλείται και νόμος του Walras:

$$Surplus_{h,r,t} + Surplus_{g,r,t} + Surplus_{f,r,t} + Surplus_{row,r,t} = 0$$

Όπου $Surplus_{se,r,t}$ για θετικές τιμές είναι πλεόνασμα και αρνητικές τιμές έλλειμμα ανά οικονομικό παράγοντα $se: \{h, g, f, row\}$.

Ο κάθε οικονομικός παράγοντας αν είναι ελλειμματικός πρέπει να αναζητήσει δανεισμό, ενώ αν είναι πλεονασματικός πρέπει να τοποθετήσει τα χρήματά του βέλτιστα.

Θεωρώντας μια ενιαία αγορά χρήματος εντός της κάθε χώρας ο δανεισμός των ελλειμματικών νοικοκυριών ($\Delta Borr_{h,r,t}$), ο καθαρός δανεισμός του δημοσίου τομέα ($\Delta Borr_{g,r,t}$), ο καθαρός δανεισμός των επιχειρήσεων ($\Delta Borr_{f,r,t}$) είναι ίσος με τον συνολικό δανεισμό της χώρας ($\Delta Borr_{r,t}$):

$$\Delta Borr_{h,r,t} + \Delta Borr_{g,r,t} + \Delta Borr_{f,r,t} = \Delta Borr_{r,t}$$

Ο δανεισμός της χώρας επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: είτε με εγχώριο δανεισμό από τα πλεονάζοντα νοικοκυριά ($\Delta NBond_{r,t}$), είτε από τις διεθνείς αγορές ($\Delta IBorr_{r,t}$, «παγκόσμια» τράπεζα):

$$\Delta Borr_{r,t} = \Delta NBond_{r,t} + \Delta IBorr_{r,t}$$

Τα πλεονάζοντα νοικοκυριά πέραν του ποσού που διαθέτουν για την χρηματοδότηση των επενδύσεων από ίδια κεφάλαια, το υπόλοιπο ποσό ($\Delta Bond_{h,r,t}$) το διαθέτουν τόσο σε εγχώριο ($\Delta NBond_{r,t}$), όσο και σε ξένο δανεισμό ($\Delta FBond_{h,r,t}$):

$$\Delta Bond_{h,r,t} = \Delta NBond_{r,t} + \Delta FBond_{h,r,t}$$

Στην συνέχεια γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της συμπεριφοράς κάθε οικονομικού παράγοντα.

6.3.2. Συμπεριφορά των νοικοκυριών

Όπως έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.3. Τα νοικοκυριά βελτιστοποιούν την διαχρονική συνάρτηση χρησιμότητας, μοιράζοντας το εισόδημά τους βέλτιστα σε κατανάλωση και αποταμίευση. Έτσι στο πρώτο στάδιο αποφασίζουν πόσο θα καταναλώσουν και πόσο θα αποταμιεύσουν δίνοντας τους όμως επιπλέον την δυνατότητα να δανειστούν για να καταναλώσουν. Η δυνατότητα αυτή συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση διαρκών αγαθών και σκοπό της έχει να διαμοιράσει το κόστος των διαρκών αγαθών στο χρόνο, πληρώνοντας κάθε χρονιά μόνο την αντίστοιχη δόση. Έτσι η ταυτότητα που ισχύει είναι η εξής:

$$Inc_{h,r,t} + \Delta Borr_{h,r,t} = FC_{h,r,t} + Save_{h,r,t}$$

Όπου:

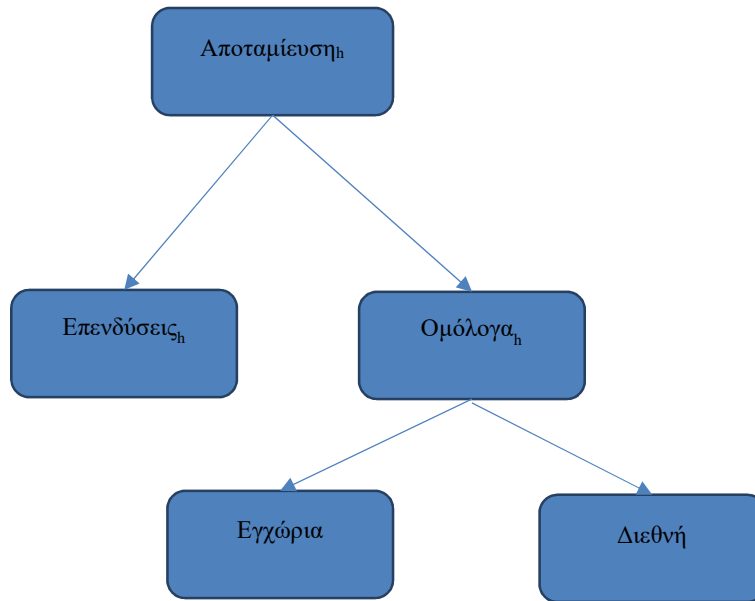
$$Inc_{h,r,t} = \sum_{fa} FSEFA_{h,fa,r,t} + \sum_{sr} (FSESE_{h,sr,r,t} - FSESE_{sr,h,r,t}) + Payments_{h,r,t}$$

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$Inc_{h,r,t}$:	Εισόδημα του νοικοκυριού την χρονιά t	b. \$
$\Delta Borr_{h,r,t}$:	Δάνεια των νοικοκυριών την χρονιά t	b. \$
$FSEFA_{h,fa,r,t}$:	Τα έσοδα του νοικοκυριού από την εργασία και από κέρδη επιχειρήσεων την χρονιά t	b. \$
$FSESE_{h,sr,r,t}, FSESE_{sr,h,r,t}$:	Οι συναλλαγές του νοικοκυριού με άλλους φορείς (κράτος, επιχειρήσεις...) την χρονιά t (έσοδα, έξοδα)	b. \$
$Payments_{h,r,t}$:	Τόκους που δίνει και παίρνει την χρονιά t	b. \$
$FC_{h,r,t}$:	Η κατανάλωση του νοικοκυριού την χρονιά t	b. \$
$Save_{h,r,t}$:	Η αποταμίευση του νοικοκυριού την χρονιά t	b. \$

Στην συνέχεια αφού έχει αποφασίσει πόσο θα αποταμιεύσει, τοποθετεί βέλτιστα τα χρήματά του ούτως ώστε να βελτιστοποιήσει το χαρτοφυλάκιο του με σκοπό την μεγαλύτερη αναμενόμενη απόδοση με το μικρότερο δυνατό ρίσκο. Οι επιλογές που έχει είναι: 1) μέσω της παγκόσμιας τράπεζας να επενδύσει σε ξένες αγορές, 2) να χρηματοδοτήσει τις επενδύσεις των επιχειρήσεων βάση της αναμενόμενης απόδοσης των μετοχών που διακρατεί και 3) να αγοράσει εγχώρια ομόλογα από την ενιαία εγχώρια αγορά ομολόγων μέσω των εγχώριων τραπεζών.

Υπάρχει μια ενιαία αγορά ομολόγων για κάθε χώρα και ένα επιτόκιο ισορροπίας που την εκκαθαρίζει για κάθε χώρα, θεωρώντας ότι ο κίνδυνος εντός της χώρας είναι συστημικός και επηρεάζει ομοιόμορφα όλη την οικονομία. Ο ρόλος των τραπεζών είναι να αποδώσουν τους τόκους για κάθε χρηματοοικονομικό προϊόν που προσφέρουν έτσι ώστε να έχουν μηδενικά κέρδη λαμβάνοντας υπόψη την πιστωτική θέση του κάθε δανειζόμενου. Με αυτόν τον τρόπο διαφοροποιούνται τα επιτόκια για τα διάφορα χρηματοοικονομικά προϊόντα.

Το δέντρο απόφασης του νοικοκυριού για το πώς θα τοποθετήσει τις αποταμιεύσεις του δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Έτσι το νοικοκυριό αποφασίζει το ύψος της χρηματοδότησης των επιχειρήσεων με αύξηση μετοχικού κεφαλαίου και την ποσότητα που θα διαθέσει σε άλλα χρηματοοικονομικά προϊόντα. Στην συνέχεια αποφασίζει την κατανομή στην εγχώρια αγορά μέσω εγχώριων τραπεζών και πόσο στην ξένη αγορά μέσω της παγκόσμιας τράπεζας. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος διαχείρισης χαρτοφυλακίου του νοικοκυριού δίνεται ακολούθως:

$$\Delta Bon_{h,r,t} = Save_{h,r,t} - INV_{h,r,t}$$

$$\Delta NBond_{h,r,t} = xshM1_{h,r,t} \cdot \Delta Bond_{h,r,t}$$

$$\Delta FBond_{h,r,t} = (1 - xshM1_{h,r,t}) \cdot \Delta Bon_{h,r,t}$$

$$xshM1_{h,r,t}$$

$$= \frac{shM1_{h,r,t} \cdot \left(\frac{rMBond_{r,t}}{rMBond_{r,0}} \cdot \frac{riskMBond_{r,t}}{riskMBond_{r,0}} \right)^{sf1_{h,r,t}}}{shM1_{h,r,t} \cdot \left(\frac{rMBond_{r,t}}{rMBond_{r,0}} \cdot \frac{riskMBond_{r,t}}{riskMBond_{r,0}} \right)^{sf1_{h,r,t}} + (1 - shM1_{h,r,t}) \cdot \left(\frac{rMYieldFBH_{r,t}}{riskMYieldFB_{r,0}} \cdot \frac{rMYieldFBH_{r,t}}{riskMYieldFB_{r,0}} \right)^{sf1_{h,r,t}}}$$

$$INV_{h,r,t} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{INV_{h,r,0}}{Save_{h,r,0}} \cdot Save_{h,r,t} \cdot \left(\frac{reINV_{h,r,t}}{reINV_{h,r,0}} \right)^{\epsilonpsilon_{K_{r,t}}} , \quad swK_{r,t} = 1 \\ \frac{INV_{h,r,0}}{\sum_j pINV_{j,r,0} \cdot INV_{j,r,0}} \cdot \left(\sum_j pINV_{j,r,t} \cdot INV_{j,r,t} \right) , \quad swK_{r,t} = 0 \end{array} \right.$$

Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στο δεύτερο στάδιο της απόφασης βασίστηκε στην συνάρτηση Weibull, η οποία εξαρτάται: 1) ενδογενώς από την τρέχουσα μέση απόδοση της κάθε επιλογής (εγχώρια ή ξένη αγορά), 2) από το ρίσκο της κάθε αγοράς το οποίο είναι γνωστό την τρέχουσα περίοδο και εξαρτάται από τις προηγούμενες περιόδους, 3) από τις προτιμήσεις των διαφορετικών τύπου νοικοκυριών (risk averse, risk neutral, risk lover) αλλά και άλλων εξωγενών μεταβλητών όπως εμπόδια κεφαλαιακών αγορών.

Όσο αφορά το πρώτο στάδιο της απόφασης, έχουν εισαχθεί δύο επιλογές, 1) ένα σταθερό ποσοστό των συνολικών επενδύσεων των επιχειρήσεων ($swK = 0$), 2) ενδογενής απόφαση βάση της αναμενόμενης απόδοσης των επενδύσεων σε σχέση με το τρέχον επιτόκιο δανεισμού της αγοράς ($swK = 1$).

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$\Delta Bond_{h,r,t}$	Αποταμιεύσεις του νοικοκυριού για ομόλογα	b. \$
$\Delta NBond_{h,r,t}$	Εγχώρια ομόλογα του νοικοκυριού την χρονιά t	b. \$
$\Delta FBond_{h,r,t}$	Ξένα ομόλογα του νοικοκυριού την χρονιά t	b. \$
$INV_{h,r,t}$	Χρηματοδότηση των επενδύσεων των επιχειρήσεων από τα νοικοκυριά την χρονιά t	b. \$
$xshM1_{h,r,t}$	Ποσοστό των χρημάτων σε εγχώρια ομόλογα την χρονιά t	#
$rMBond_{r,t}$	Πραγματικό επιτόκιο δανεισμού την χρονιά t	#
$riskMBond_{r,t}$	Δείκτης ρίσκου την χρονιά t	#
$rMYieldFBH_{r,t}$	Πραγματικό παγκόσμιο επιτόκιο που βλέπει η χώρα r	#
$riskMYieldFBH_{r,t}$	Ρίσκο παγκόσμιο επιτοκίου που βλέπει η χώρα r	#
$reINV_{h,r,t}$	Αναμενόμενη απόδοση μετοχών την χρονιά t	#
$reMYieldBH_{r,t}$	Αναμενόμενη απόδοση ομολόγων την χρονιά t	#
$INV_{j,r,t}$	Όγκος επενδύσεων ανά επιχείρηση	b.\$KAV
$pINV_{j,r,t}Q$	Κόστος επενδύσεων ανά επιχείρηση	\$/KAV

Παράμετρος	Περιγραφή	Μονάδες
$sf1_{h,r,t}$:	Εκθέτης στην Weibull μεταξύ εγχωρίων και ξένων ομολόγων	#
$shM1_{h,r,t}$:	Παράμετρος της Weibull που φανερώνει προτίμηση και εξαρτάται από την απόδοση και το ρίσκο κάθε χώρας	#
$epsilonK_{r,t}$:	Ελαστικότητα μεταξύ αναμενόμενης απόδοσης μετοχών και αναμενόμενης απόδοσης ομολόγων	#
$swK_{r,t}$:	Παράγωγος ενεργοποίησης εξίσωσης	#

6.3.3. Συμπεριφορά των επιχειρήσεων

Οι επιχειρήσεις διανέμουν τα κέρδη στους μετόχους και εξασφαλίζουν την χρηματοδότηση των επενδύσεων.

Η χρηματοδότηση των επενδύσεων γίνεται:

α) από τα κέρδη που δεν έχουν διανεμηθεί στους μετόχους αφού πληρωθούν όλες οι υποχρεώσεις των δανείων προηγούμενων ετών,

β) με αύξηση μετοχικού κεφαλαίου,

γ) εκδίδοντας εταιρικά ομόλογα.

Υποθέτουμε ότι τα κέρδη των επιχειρήσεων ισούνται με τις αποταμιεύσεις τους:

$$Save_{f,r,t} = Inc_{f,r,t}$$

Όπου:

$$Inc_{f,r,t} = \sum_{fa} FSEFA_{f,fa,r,t} + \sum_{sr} (FSESE_{f,sr,r,t} - FSESE_{sr,f,r,t}) + Payments_{f,r,t}$$

Η προσφορά χρήματος για χρηματοδότηση επενδύσεων είναι ίση με την ζήτηση χρήματος για χρηματοδότηση.

$$\sum_{se} INV_{se,r,t} = \sum_j pINV_{j,r,t} \cdot INV_{j,r,t}$$

Τα ίδια κεφάλαια των επιχειρήσεων είναι $Save_{f,r,t}$. Οπότε η χρηματοδότηση των επενδύσεων πέραν της χρηματοδότησης από τους μετόχους είναι ίση με τα ίδια κεφάλαια των επιχειρήσεων συν τον δανεισμό από την έκδοση ομολόγων.

$$INV_{f,r,t} = Save_{f,r,t} + \Delta Borr_{f,r,t}$$

Ή διαφορετικά η επιχείρηση δανείζεται στην αγορά των ομολόγων με το ποσό που δεν μπορεί να συγκεντρώσει από ίδια κεφάλαια και από αυξήσεις μετοχικού κεφαλαίου.

$$\Delta Borr_{f,r,t} = \sum_j pINV_{j,r,t} \cdot INNV_{j,r,t} - Save_{f,r,t} - INV_{h,r,t} - INV_{g,r,t}$$

Όταν η μεταβλητή $\Delta Borr_{f,r,t}$ παίρνει αρνητικές τιμές, οι επιχειρήσεις υπερκαλύπτουν την ζήτηση χρήματος, σε αυτή την περίπτωση οι επιχειρήσεις αποπληρώνουν προηγούμενο χρέος τους.

Η εξίσωση επενδύσεων (η οποία παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.5 σελίδα 57) διαμορφώνεται τώρα ως εξής:

$$\begin{aligned} INNV_{j,r,t} = & \frac{a0_{j,r,t}}{1 - (1 - \delta_{j,r,t})^T} \cdot KAV_{j,r,t} \\ & \cdot \left(\left(\frac{pK_{j,r,t}}{pINV_{j,r,t} \cdot (rMBond_{r,t} + \delta_{j,r,t})} \right)^{a1_{j,r,t}} \cdot e^{(tgk_{j,r,t} - tgk_{j,r,t-T}) \cdot a2_{j,r,t}} \right) \\ & \cdot \left(\frac{tfp_{j,r,t}}{tfp_{j,r,t-T}} \right)^{a2_{j,r,t}} \cdot (1 + stgr_{j,r,t})^T - (1 - \delta_{j,r,t})^T \end{aligned}$$

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$\Delta Borr_{f,r,t}$:	Δανεισμός των επιχειρήσεων με ομόλογα	b. \$
$INV_{g,r,t}$:	Χρηματοδότηση των επενδύσεων των επιχειρήσεων από το κράτος την χρονιά t	b. \$
$INV_{f,r,t}$:	Χρηματοδότηση των επενδύσεων των επιχειρήσεων από τις επιχειρήσεις την χρονιά t	b. \$
$Save_{f,r,t}$:	Η αποταμίευση των επιχειρήσεων την χρονιά t (ίδια κεφάλαια)	b. \$
$Inc_{f,r,t}$:	Εισόδημα των επιχειρήσεων την χρονιά t	b. \$
$FSEFA_{f,fa,r,t}$:	Τα έσοδα των επιχειρήσεων από τα κέρδη που κρατούν οι επιχειρήσεις την χρονιά t	b. \$
$FSESE_{f,sr,r,t}, FSESE_{sr,f,r,t}$:	Οι συναλλαγές του νοικοκυριού με άλλους φορείς (κράτος, επιχειρήσεις...) την χρονιά t (έσοδα, έξοδα)	b. \$
$Payments_{f,r,t}$:	Τόκους που προσκομίζει και αποδίδει την χρονιά t	b. \$
$FC_{f,r,t}$:	Κατανάλωση των επιχειρήσεων (ίση με μηδέν)	b. \$

6.3.4. Συμπεριφορά του δημόσιου τομέα

Το κράτος έχει πάντα ισοσκελισμένο προϋπολογισμό, Αυτό επιτυγχάνεται με φόρους, μεταβολή της δημόσιας δαπάνης και με δανεισμό (για απλοποίηση του προβλήματος δεν υπάρχει δυνατότητα πώλησης περιουσιακών στοιχείων για παράδειγμα μετοχές).

Ο δημόσιος τομέας χρηματοδοτεί τις επενδύσεις του με:

$$INV_{g,r,t} = \frac{INV_{g,r,0}}{\sum_j pINV_{j,r,0} \cdot INVV_{j,r,0}} \cdot \left(\sum_j pINV_{j,r,t} \cdot INVV_{j,r,t} \right)$$

Για να χρηματοδοτήσει τις επενδύσεις ή/και το έλλειμμά του δανείζεται στην αγορά ομολόγων:

$$\Delta B_{g,r,t} = -Save_{g,r,t} + INV_{g,r,t}$$

Όπου, οι αποταμιεύσεις του δημοσίου τομέα είναι:

$$Save_{g,r,t} = Inc_{g,r,t} - FC_{g,r,t}$$

Και το εισόδημά του είναι:

$$Inc_{g,r,t} = \sum_{fa} FSEFA_{g,fa,r,t} + \sum_{sr} (FSESE_{g,sr,r,t} - FSESE_{sr,g,r,t}) + Payments_{g,r,t}$$

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$\Delta Borr_{g,r,t}$:	Δανεισμός του κράτους με ομόλογα	b. \$
$Save_{g,r,t}$:	Η αποταμίευση του δημοσίου τομέα την χρονιά t	b. \$
$Inc_{g,r,t}$:	Εισόδημα του δημοσίου τομέα την χρονιά t	b. \$
$FSEFA_{g,fa,r,t}$:	Τα έσοδα του κράτους από τα κέρδη του δημοσίου τομέα την χρονιά t	b. \$
$FSESE_{g,sr,r,t}, FSESE_{sr,g,r,t}$:	Οι συναλλαγές του κράτους με άλλους φορείς (κράτος, επιχειρήσεις...) την χρονιά t (έσοδα, έξοδα)	b. \$
$Payments_{g,r,t}$:	Τόκους που προσκομίζει και αποδίδει την χρονιά t	b. \$
$FC_{g,r,t}$:	Κατανάλωση του κράτους την χρονιά t	b. \$

6.3.5. Παγκόσμια τράπεζα

Η παγκόσμια τράπεζα δέχεται καταθέσεις από όλες τις χώρες του κόσμου και τους αποδίδει ένα επιτόκιο, έτσι ώστε να έχει μηδενικά κέρδη. Με τις καταθέσεις αγοράζει ομόλογα κάθε χώρας, έτσι ώστε να καλύπτει τα ελλείμματα από αυτούς που έχουν πλεονάσματα.

Έτσι, έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\Delta Borr_{r,t} = xshMW_{r,t} \cdot \sum_c \Delta FBond_{n,c,t}$$

$$xshMW_{r,t} = \frac{shMW_{r,t} \cdot \left(\frac{rMBond_{r,t}}{rMBond_{r,0}} \right)^{sfw_t} \cdot \left(\frac{riskMBond_{r,t}}{riskMBond_{r,0}} \right)^{sfw_t}}{\sum_c shMW_{c,t} \cdot \left(\frac{rMBond_{c,t}}{rMBond_{c,0}} \right)^{sfw_t} \cdot \left(\frac{riskMBond_{c,t}}{riskMBond_{c,0}} \right)^{sfw_t}}$$

Αντίστοιχα, όπως και στα νοικοκυριά η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε βασίστηκε στην συνάρτηση Weibull, στην οποία εξαρτάται: 1) ενδογενώς από την τρέχουσα μέση απόδοση της κάθε χώρας, 2) από το ρίσκο της κάθε αγοράς (χώρας), το οποίο είναι γνωστό την τρέχουσα περίοδο και εξαρτάται από τις προηγούμενες περιόδους, 3) από τις προτιμήσεις των διαφορετικών τύπου νοικοκυριών (risk averse, risk neutral, risk lover) αλλά και άλλων εξωγενών μεταβλητών, όπως εμπόδια κεφαλαιακών αγορών.

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$\Delta IBorr_{r,t}$:	Δανεισμός από τις διεθνείς αγορές ομολόγων	b. \$
$xshMW_{r,t}$:	Ποσοστό των χρημάτων της παγκόσμιας τράπεζας που δανείζει σε κάθε χώρα την χρονιά t	#
Παράμετρος		Μονάδες
sfw_t :	Εκθέτης στην Weibull μεταξύ χωρών	#
$shMW_{r,t}$:	Παράμετρος της Weibull που φανερώνει προτίμηση και εξαρτάται από την απόδοση και το ρίσκο κάθε χώρας	#

6.3.6. Συμπεριφορά του εξωτερικού τομέα

Το εισόδημα του εξωτερικού τομέα σε κάθε χώρα είναι το εξής:

$$Inc_{w,r,t} = \sum_{fa} FSEFA_{w,fa,r,t} + \sum_{sr} (FSESE_{w,sr,r,t} - FSESE_{sr,w,r,t}) + Payments_{w,r,t} + Imports_{r,t}$$

Για απλοποίηση υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν ξένες επενδύσεις ούτε έσοδα από το εξωτερικό, οπότε:

$$INV_{w,r,t} = 0$$

$$FSEFA_{w,fa,r,t} = 0$$

Έτσι, όταν ο υπόλοιπος κόσμος είναι ελλειμματικός, η χώρα ισοδύναμα είναι πλεονασματική και το αντίστροφο:

$$\Delta Borr_{w,r,t} = -Save_{w,r,t} + INV_{w,r,t} = -Surplus_{w,r,t}$$

Και

$$\Delta Bor_{row,r,t} = \Delta FBond_{h,r,t} - \Delta IBorr_{r,t}$$

Όπου, οι αποταμιεύσεις του υπόλοιπου κόσμου είναι ίσες:

$$Save_{w,r,t} = Inc_{w,r,t} - FC_{w,r,t}$$

Και η κατανάλωση του υπόλοιπου κόσμου είναι οι εξαγωγές που πραγματοποιεί η κάθε χώρα:

$$FC_{w,r,t} = Exports_{r,t}$$

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδες
$\Delta Borr_{w,r,t}$:	Δανεισμός του υπόλοιπου κόσμου από την χώρα την χρονιά t	b. \$
$Save_{w,r,t}$:	Η αποταμίευση του υπόλοιπου κόσμου την χρονιά t	b. \$
$Inc_{w,r,t}$:	Εισόδημα του υπόλοιπου κόσμου την χρονιά t είναι ίσο με τις εισαγωγές της χώρας από των υπόλοιπο κόσμο	b. \$
$FSEFA_{w,fa,r,t}$:	Τα έσοδα του υπόλοιπου κόσμου από τα κέρδη των επιχειρήσεων την χρονιά t (=0)	b. \$
$FSESE_{w,SR,r,t}, FSESE_{SR,w,r,t}$:	Οι συναλλαγές του υπόλοιπου κόσμου με άλλους φορείς (κράτος, επιχειρήσεις...) την χρονιά t (έσοδα, έξοδα)	b. \$
$Payments_{w,r,t}$:	Τόκους που προσκομίζει και αποδίδει την χρονιά t	b. \$
$FC_{w,r,t}$:	Οι εξαγωγές της χώρας ή οι εισαγωγές του υπόλοιπου κόσμου αντίστοιχα την χρονιά t	b. \$

6.3.7. Ισορροπίες

Η προσφορά ομολόγων είναι ίση με την ζήτηση ομολόγων σε κάθε αγορά (ή η ζήτηση χρήματος είναι ίση με την προσφορά χρήματος, δυϊκό πρόβλημα). Η ζήτηση μπορεί να προέρχεται, είτε από εγχώριους είτε από ξένους επενδυτές. Σε αυτή την ενιαία αγορά είναι και τα δάνεια των νοικοκυριών, ο δανεισμός του δημοσίου τομέα (σε περίπτωση που ο δημόσιος τομέας έχει αρνητική θέση, δηλαδή σε περίπτωση πλεονάσματος, από δανειζόμενος είναι δανειστής της εγχώριας αγοράς και με αυτό τον τρόπο μειώνει το συνολικό του χρέος), ομοίως με τον δημόσιο τομέα και οι επιχειρήσεις σε περίπτωση πλεονάσματος αποπληρώνουν το συνολικό χρέος. Θεωρητικά όλοι μπορούν να δανειστούν και να δανείσουν, η μοντελοποίηση αποκλείει την πιθανότητα όλοι ταυτόχρονα μόνο να δανειστούν ή όλοι ταυτόχρονα μόνο να δανείζουν. Αυτό δεν μπορεί να συμβεί, γιατί σε περίπτωση που μειωθεί η εγχώρια ζήτηση για δανεισμό, τα επιτόκια θα μειωθούν και η αποταμίευση θα μειωθεί, με αποτέλεσμα η κατανάλωση και η επένδυση να αυξηθούν. Αυτό οδηγεί σε αύξηση του δανεισμού και επιβράδυνση της μείωσης των επιτοκίων. Επίσης, τα χαμηλά επιτόκια οδηγούν σε χαμηλότερη ζήτηση επενδυτών να τοποθετήσουν τα χρήματά τους, με οριακό σημείο να είναι το μηδέν, αφού κανένας επενδυτής δεν θα δεχόταν να τοποθετήσει τα χρήματά του με αρνητικό επιτόκιο. Άρα:

$$\Delta Bor_{r,t} \geq \Delta NBond_{r,t} + \Delta IBorr_{r,t} \perp rMBond_{r,t} \geq 0$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση που περιγράφει το νόμο του Walras με τα ισοδύναμα μέρη της έχουμε:

$$Surplus_{h,r,t} + Surplus_{g,r,t} + Surplus_{f,r,t} + Surplus_{w,r,t} = 0$$

Ή ισοδύναμα

$$(\Delta NBond_{h,r,t} + \Delta FBond_{h,r,t} - \Delta Bor_{h,r,t}) + (-\Delta Borr_{g,r,t}) + (-\Delta Borr_{f,r,t}) + (-\Delta Borr_{w,r,t}) = 0$$

Όπου $\Delta Bor_{w,r,t} = \Delta FBond_{h,r,t} - \Delta IBorr_{r,t}$

Και $\Delta Borr_{h,r,t} + \Delta Borr_{g,r,t} + \Delta Bor_{f,r,t} = \Delta Bor_{r,t}$

Οπότε

$$\Delta NBond_{h,r,t} + \Delta IBorr_{r,t} = \Delta Bo_{r,t}$$

Η οποία είναι εξίσωση ισορροπίας. Αθροίζοντας αυτή την εξίσωση για όλες τις χώρες (υποθέτοντας ότι οι τράπεζες δανείζουν όσο είναι το ποσό που έχουν δανειστεί από τα πλεονασματικά νοικοκυριά) προκύπτει η ακόλουθη ταυτότητα:

$$\sum_r \Delta Bon_{h,r,t} = \sum_r \Delta Borr_{r,t}$$

6.3.8. Numeraire

Από την ποσοτική θεωρία του χρήματος έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$M \cdot \bar{V} = P \cdot Y$$

Όπου, M είναι η ποσότητα του χρήματος στην οικονομία⁵², \bar{V} ονομάζεται η εισοδηματική ταχύτητα κυκλοφορίας του χρήματος (income velocity of money) και από τον ορισμό της θεωρίας του χρήματος είναι σταθερή, Y είναι το πραγματικό ΑΕΠ, P είναι ο αποπληθωριστής του ΑΕΠ και $P \cdot Y$ το ονομαστικό ΑΕΠ. Δεδομένου ότι η ταχύτητα κυκλοφορίας του χρήματος είναι σταθερή, μπορούμε να δούμε την ποσοτική εξίσωση σαν μια θεωρία προσδιορισμού του ονομαστικού ΑΕΠ. Δηλαδή,

⁵² Η προσφορά χρήματος μπορεί να ταξινομηθεί σε 5 κατηγορίες, όπου η μια είναι υπερσύνολο της προηγούμενης $C \subset M_1 \subset M_2 \subset M_3 \subset L$. Όπου C είναι το νόμισμα, M_1 αποτελείται από το C συν τις καταθέσεις όψεως και τις επιταγές, M_2 αποτελείται από το M_1 συν καταθέσεις χρηματοαγοράς, μερίδια αμοιβαίων κεφαλαίων, καταθέσεις ταμιευτηρίου και βραχυπρόθεσμες προθεσμιακές καταθέσεις, M_3 αποτελείται από το M_2 συν τα ευρώδολάρια, προθεσμιακές καταθέσεις μεγάλης διάρκειας, και συμφωνίες επαναγοράς μεσομακροπρόθεσμης διάρκειας (ρέπος) και καταθέσεις χρηματοαγοράς (θεσμικών), και L αποτελείται από το M_3 συν τα αποταμιευτικά ομόλογα, έντοκα γραμμάτια του δημοσίου και άλλα ρευστοποιήσιμα στοιχεία. Συνήθως, χρησιμοποιείται το M_1 και το M_2 ως μέτρο για την ποσότητα του χρήματος.

η ποσότητα του χρήματος καθορίζει την αξία σε δολάρια του προϊόντος της οικονομίας. Η ποσότητα M αποτελεί την νομισματική βάση και είναι σταθερή στο μοντέλο, ενώ το παγκόσμιο επιτόκιο που εκκαθαρίζει την προσφορά με την ζήτηση χρήματος υπολογίζεται ενδογενώς⁵³ στο μοντέλο. Αφού το M είναι σταθερό, ως τιμή του numeraire στο μοντέλο ορίζουμε τον αποπληθωριστή του ΑΕΠ. Θεωρώντας ότι δεν αλλάζει η νομισματική βάση, η δυϊκή μεταβλητή της ποσοτικής εξίσωσης του χρήματος είναι το παγκόσμιο επιτόκιο.

$$\sum_r (K_{r,t} + L_{r,t}) = num_t \cdot r_{t|t} world$$

6.3.9. Χρηματοοικονομικές συναλλαγές

Η παγκόσμια τράπεζα καθώς και οι εγχώριες τράπεζες βρίσκουν το κατάλληλο επιτόκιο που πολλαπλασιάζει τα χρηματοοικονομικά προϊόντα των τραπεζών, έτσι ώστε κάθε τράπεζα να έχει μηδενικά κέρδη. Ο πίνακας που αναπαριστά όλες τις χρηματορροές δίνεται ακολούθως:

$$\begin{aligned} Payments_{se,r,t} &= \left[+rWBond_{r,t-1} \cdot rYield_{FB,r,t-1} \cdot FBond_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} + rBond_{r,t-1} \right. \\ &\quad \cdot (NBond_{r,t-1} - BorrH_{r,t-1}) \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}}, \quad se \\ &= H - rBond_{r,t-1} \cdot BorrG_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}}, \quad se \\ &= G - rBond_{r,t-1} \cdot BorrF \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}}, \quad se \\ &= F + rBond_{r,t-1} \cdot IBorr_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} - rWBond_{t-1} \cdot rYield_{FBH,r,t-1} \\ &\quad \left. \cdot FBond_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}}, \quad se = W \right] \end{aligned}$$

Στο συνολικό χρέος του κάθε οικονομικού παράγοντα υπάρχουν κάποιοι τόκοι τους οποίους πληρώνει σε ένα μέσο επιτόκιο του χρέους. Το δάνειο που παίρνει ο κάθε δανειζόμενος θεωρητικά κρατάει για πάντα και πληρώνει σε αυτό τόκους στο μέσο επιτόκιο. Στο μοντέλο υπάρχουν δύο κατηγορίες επιτοκίων: 1) το τρέχον επιτόκιο στο οποίο εκκαθαρίζεται η αγορά στην οποία ανήκει αυτό το χρηματοοικονομικό προϊόν και συνδέεται με τον δανεισμό της τρέχουσας χρονιάς, 2) το μέσο επιτόκιο του συνολικού χρέους, το οποίο είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των επιτοκίων όλων των γενιών. Οπότε έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

⁵³ Εναλλακτικά, θα μπορούσε η νομισματική βάση να μην είναι σταθερή, δηλαδή η κεντρική τράπεζα να «τυπώνει» χρήμα και με αυτόν τον τρόπο να εξασφαλίζεται η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης και το παγκόσμιο επιτόκιο να είναι σταθερό.

$$rBond_{r,t} = \frac{\left[rBond_{r,t-1} \cdot Borr_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} + rMBond_{r,t} \cdot rltlrworld_t \cdot \Delta Borr_{r,t} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} \cdot T \right]}{\left[Borr_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} + \Delta Borr_{r,t} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} \cdot T \right]}$$

$$rYieldFBH_{r,t} = \frac{\left[rYieldFBH_{r,t-1} \cdot FBondH_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} + rMYieldFBH_{r,t} \cdot \Delta FBondH_{r,t} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} \cdot T \right]}{\left[FBondH_{r,t-1} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} + \Delta FBondH_{r,t} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-1}} \cdot T \right]}$$

6.3.10. Μηχανισμός αποπληρωμής του χρέους

Ο κάθε οικονομικός παράγοντας (νοικοκυριά, επιχειρήσεις, κυβέρνηση) παρέχει ένα μέρος από τα έσοδά του για την αποπληρωμή των δανείων, εις βάρος της κατανάλωσής του, είτε άλλων χρηματοοικονομικών επενδύσεων, ειδικά το χρέος μεγαλώνει με αποτέλεσμα να αναγκάζεται να πάρει νέο δάνειο για την αποπληρωμή του χρέους. Το χρέος μπορεί να μειωθεί αγοράζοντας μέρος του και διαγράφοντας το με αυτό τον τρόπο. Για την αποφυγή μη εξυπηρετούμενου χρέους, ο κάθε οικονομικός παράγοντας είναι αναγκασμένος να προβεί σε μια σειρά από πράξεις, που συμβάλουν στην μείωσή του αυξάνοντας τα έσοδά του:

- Τα νοικοκυριά μειώνουν την κατανάλωσή τους.
- Οι επιχειρήσεις, είτε αυξάνουν την τιμή πώλησης, είτε μειώνουν το κέρδος που διανέμουν στους μετόχους.
- Το κράτος αυξάνει την φορολογία.

6.3.11. Δυναμικές εξισώσεις του μοντέλου

Οι δυναμικές εξισώσεις που αφορούν στο χρέος ή πλούτο είναι εκφρασμένες σε τρέχουσες τιμές. Το χρέος συσσωρεύεται στον χρόνο και είναι ίσο με το χρέος της προηγούμενης περιόδου συν της τρέχουσας περιόδου. Έτσι ο γενικός τύπος είναι:

$$B_{r,t} = B_{r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta B_{r,t} \cdot T$$

Αναλυτικά οι δυναμικές εξισώσεις του μοντέλου δίνονται ακολούθως:

$$Bond_{h,r,t} = Bond_{h,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta Bond_{h,r,t} \cdot T$$

$$NBond_{h,r,t} = NBond_{h,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta NBond_{h,r,t} \cdot T$$

$$FBond_{h,r,t} = FBond_{h,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta FBond_{h,r,t} \cdot T$$

$$Borr_{h,r,t} = Borr_{h,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta Borr_{h,r,t} \cdot T$$

$$Borr_{f,r,t} = Borr_{f,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta Borr_{f,r,t} \cdot T$$

$$Borr_{g,r,t} = Borr_{g,r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta Borr_{g,r,t} \cdot T$$

$$Borr_{r,t} = Borr_{r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta Borr_{r,t} \cdot T$$

$$IBorr_{r,t} = IBorr_{r,t-T} \cdot \frac{PCIW_t}{PCIW_{t-T}} + \Delta IBorr_{r,t} \cdot T$$

6.4. Δεδομένα

Το μοντέλο στο έτος βάσης αναπαριστά τις καθαρές δανειοδοτικές/δανειοληπτικές θέσεις του κάθε οικονομικού τομέα σύμφωνα με τις θεσμικές συναλλαγές (υπάρχει πλήρη αλληλουχία με τους Εθνικούς λογαριασμούς, που περιλαμβάνουν και τις δευτερεύουσες συναλλαγές, όπως το εισόδημα περιουσίας, τα έσοδα από καταθέσεις και το επιτόκιο από το σύνολο των χρηματοοικονομικών προϊόντων) και έχει στηριχθεί στα στοιχεία της Eurostat για τις χώρες τις ΕΕ, ενώ για τον υπόλοιπο κόσμο έχουν γίνει υποθέσεις στηριζόμενες στην δομή των δεδομένων της Eurostat.

Η καθαρή θέση δανεισμού του κάθε οικονομικού τομέα έχει υπολογιστεί αναλυτικά (όλες οι πηγές εσόδων, συμπεριλαμβανομένων των μερισμάτων, τόκων, πληρωμές χρέους, επιτόκια ομολόγων κλπ.). Τα στοιχεία σχετικά με τη δομή του διμερούς χρέους έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τις τρέχουσες συναλλαγές και σωρευτικές διμερείς εμπορικές συναλλαγές.

Τα δεδομένα, που αφορούν το χρέος κάθε οικονομικού παράγοντα, έχουν βασιστεί σε δεδομένα από τους διεθνείς οργανισμούς IMF, World bank, Eurostat και OECD. Το χρέος υποδιαιρείται σε τέσσερις κατηγορίες εσωτερικό και εξωτερικό, δημόσιο και ιδιωτικό και το ιδιωτικό υποδιαιρείται σε δάνεια νοικοκυριών και επιχειρήσεων.

Για να επιτευχθεί η προσαρμογή των χρηματοοικονομικών στοιχείων στο έτος βάσης εφαρμόστηκε μια τεχνική βασισμένη στην μέθοδο του προγραμματισμού στόχων (goal programming). Το πρόβλημα προγραμματισμού

στόχων ορίστηκε ως ένα μη γραμμικό πρόβλημα όπου μεταβλητές απόφασης αποτελούν τα χρηματοοικονομικά στοιχεία και οι παράμετροι για τους περιορισμούς προκύπτουν από τους πίνακες εισροών εκροών του GTAP.

Η γενική μαθηματική περιγραφή της προσαρμογής των χρηματοοικονομικών δεδομένων είναι η εξής:

$$\min \sum_{r,fin} w_{r,fin} \cdot \left(\frac{x_{r,fin}}{target_{r,fin}} - 1 \right)^2$$

Υπό τους περιορισμούς

$$F(x_{r,fin}) = A,$$

όπου $w_{r,fin}$ είναι τα βάρη και $x_{r,fin}$ οι μεταβλητές. Τα βάρη $w_{r,fin}$ που χρησιμοποιεί η τεχνική δίνουν την δυνατότητα έμφασης στα διάφορα χρηματοοικονομικά στοιχεία ($target_{r,fin}$) ανάλογα με την αξία της αρχικής πληροφορίας. Αν ένα συγκεκριμένο στοιχείο αποτελεί κρίσιμο προσδιοριστικό παράγοντα της τεχνολογίας ή θεωρείται πολύ ακριβές δεδομένο τότε επιλέγεται ένα υψηλό w . A είναι το διάνυσμα των περιορισμών και F οι ταυτότητες που πρέπει να ισχύουν.

6.5. Συμπεράσματα

Ένα από τα βασικά προβλήματα των παραδοσιακών μοντέλων γενικής ισορροπίας είναι η αυθαίρετη επιλογή του «κλεισίματος» του μοντέλου. Η υπόθεση για το κλείσιμο του μοντέλου είναι αυθαίρετη καθώς δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος επιλογής της, τα αποτελέσματα των σεναρίων πολιτικής αλλάζουν ριζικά εξαιτίας αυτής. Η εισαγωγή του νομισματικού κλεισίματος στο μοντέλο ξεπερνάει αυτό το πρόβλημα, αφού πλέον η επιλογή κλεισίματος γίνεται με αντικειμενικό τρόπο μέσω του κλεισίματος IS-LM. Θεωρητικές δημοσιεύσεις έχουν αποδείξει την ύπαρξη και μοναδικότητα του σημείου ισορροπίας σε μία οικονομία με χρήματα. Η ένταξη του νομισματικού τομέα σε μοντέλα (που επίσης ονομάζεται ενοποίηση μικρο-μάκρο) ήταν μία δεδομένη τακτική στα Κεϋνσιανά μοντέλα. Η ένταξη τους όμως σε μοντέλα γενικής ισορροπίας δεν είναι τόσο διαδεδομένη και σε αυτό το σημείο έγκειται η πρωτοτυπία της συγκεκριμένης εφαρμογής της διατριβής.

Κεφάλαιο 7

7. Επίλυση ενός μοντέλου υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας

Τα μοντέλα υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας τα τελευταία χρόνια έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για ασκήσεις πολιτικής. Για το λόγο αυτό η ανάγκη για λεπτομέρεια στην αναπαράσταση της σύνδεσης του οικονομικού συστήματος με την ενέργεια και το περιβάλλον είναι κάθε φορά και μεγαλύτερη.

Ο σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η αναλυτική περιγραφή της πειραματικής αριθμητικής μεθόδου επίλυσης μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας και της εφαρμογής της για την επίλυση του μοντέλου GEME3.

7.1. Μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος

Ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα σύνολο υπομοντέλων βελτιστοποίησης που επικοινωνούν μέσω του μηχανισμού ισορροπίας αγορών. Η χρήση της συμπληρωματικότητας κατά τη μοντελοποίηση γενικεύει τα διάφορα επιμέρους μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης σε ένα σύστημα ισοτικών και ανισοτικών σχέσεων μέσω των συνθηκών Karush-Kuhn-Tucker conditions (KKT).

Η γενική μορφή του προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας είναι η εξής (Ferris and Munson 2000): Δεδομένης συνάρτησης $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$, να βρεθεί $z \in \mathbb{R}^n$ έτσι ώστε να ισχύει:

$$f(z) = 0$$

Στη γενική μορφή του προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας, τα όρια της μεταβλητής απόφασης είναι αυτά που καθορίζουν τις σχέσεις που ικανοποιεί η συνάρτηση f . Έστω το κάτω όριο $l \in \{\mathbb{R} \cup \{-\infty\}\}^n$ και το άνω όριο $u \in \{\mathbb{R} \cup \{\infty\}\}^n$. Σε αυτήν την περίπτωση το πρόβλημα γενικεύεται ως:

$$f(z) = 0 \text{ και } l \leq z \leq u$$

$$f(z) > 0 \text{ και } l = z$$

$$f(z) < 0 \text{ και } z = u$$

Οι παραπάνω ισοτικές και ανισοτικές σχέσεις υποδηλώνουν ότι η μεταβλητή z , είτε ισούται με το άνω ή το κάτω όριο της, είτε η συνάρτηση $f(z)$ θα μηδενιστεί.

Στην περίπτωση που το κάτω όριο είναι $l = 0$, τότε θα ισχύει $0 \leq z \perp f(z) \geq 0$. Το σύμβολο \perp υποδηλώνει ότι η μία από τις δύο ανισότητες ικανοποιείται ως ισότητα. Δηλαδή, ισχύει ή $0 = z$ και $f(z) > 0$ ή $0 > z$ και $f(z) = 0$.

Ο (Mathiesen 1985) απέδειξε ότι ένα Arrow-Debreu⁵⁴ υπόδειγμα γενικής ισορροπίας μπορεί να γραφεί σαν πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας. Στην απόδειξή του κατηγοριοποίησε τις μεταβλητές του μοντέλου σε τρεις «κεντρικές» μεταβλητές:

\mathbf{p} : ένα μη αρνητικό διάνυσμα τιμών διάστασης N το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των τιμών του μοντέλου (τιμές εμπορευμάτων, ενδιάμεσων αγαθών αλλά και πρωτογενών συντελεστών παραγωγής)

\mathbf{y} : ένα μη αρνητικό διάνυσμα επιπέδου δραστηριότητας διάστασης M , με σταθερές αποδόσεις κλίμακας

\mathbf{M} : ένα διάνυσμα επιπέδου εισοδήματος για κάθε οικονομικό παράγοντα διάστασης H .

Η ισορροπία επέρχεται όταν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

1) Συνθήκη μηδενικού κέρδους

Ο παραγωγός j (όπου $j \in M$) δεν έχει κίνητρο να παράγει το προϊόν του y_j αν έχει αρνητικά κέρδη. Αυτό μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$-\Pi_j(\mathbf{p}) := C_j(\mathbf{p}) - R_j(\mathbf{p}) \geq 0 \quad \forall j \perp y_j \geq 0$$

Όπου $\Pi_j(\mathbf{p})$ είναι το κέρδος ανά μονάδα προϊόντος και ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ εσόδων ($R_j(\mathbf{p})$) και εξόδων ($C_j(\mathbf{p})$) της επιχείρησης:

$$C_j(\mathbf{p}) := \min \left\{ \sum_i p_i \cdot x_i \mid f_j(\mathbf{x}) = 1 \right\}$$

Και

$$R_j(\mathbf{p}) := \max \left\{ \sum_i p_i \cdot y_i \mid g_j(\mathbf{y}) = 1 \right\}$$

Όπου f η συνάρτηση παραγωγής και g η συνάρτηση ζήτησης και \mathbf{x} το διάνυσμα των εισροών που χρειάζεται η επιχείρηση για να παράγει μια μονάδα προϊόντος.

⁵⁴ Βλέπε (K. J. Arrow and Debreu 1954)

2) Συνθήκη εκκαθάρισης της αγοράς

Το δεύτερο σετ ανισο-ισοτήτων μας λέει ότι οι τιμές προσαρμόζονται κατάλληλα έτσι ώστε κάθε αγορά να εκκαθαρίζεται. Αυτό σημαίνει ότι στην ισορροπία η προσφορά ενός αγαθού/συντελεστή παραγωγής ισούται με την ζήτησή του. Με την βοήθεια του λήμματος του Shepard μπορούμε να γράψουμε γενικά την ακόλουθη σχέση:

$$\sum_j y_j \cdot \frac{\partial \Pi_j(\mathbf{p})}{\partial p_i} + \sum_h w_{i,h} \geq \sum_h d_{i,h}(\mathbf{p}, M_h) \quad \perp \quad p_i \geq 0$$

Όπου $w_{i,h}$ είναι οι οικονομικοί πόροι (endowments) του κάθε οικονομικού παράγοντα h για κάθε συντελεστή παραγωγής i (input). Ενώ $d_{i,h}(\mathbf{p}, M_h)$ είναι η συνολική τελική ζήτηση (η ενδιάμεση εμπεριέχεται στον πρώτο όρο της εξίσωσης) για κάθε αγαθό i για κάθε οικονομικό παράγοντα h , η οποία εξαρτάται από τις τιμές και το εισόδημα του κάθε οικονομικού παράγοντα. Η ζήτηση για αγαθά του κάθε οικονομικού παράγοντα το είναι αποτέλεσμα της μεγιστοποίησης της χρησιμότητάς του (U_h):

$$d_{i,h}(\mathbf{p}, M_h) = \operatorname{argmax} \left\{ U_h(\mathbf{x}) \mid \sum_i p_i \cdot x_i = M_h \right\}$$

3) Εξασφάλιση του εισοδηματικού περιορισμού

Η Τρίτη συνθήκη που ικανοποιείται με ισότητα, μας λέει ότι σε κατάσταση ισορροπίας, η αξία του εισοδήματος του κάθε οικονομικού παράγοντα πρέπει να ισούται με την αξία του πλούτου του (κληροδοτήματα):

$$M_h = \sum_h p_i \cdot w_{i,h}$$

Από τον νόμο του Walras μπορούμε επιπλέον να πάρουμε:

$$\sum_i p_i \cdot d_{i,h} = M_h = \sum_h p_i \cdot w_{i,h}$$

Ο (Rutherford 1995) βασιζόμενος στο έργο του Mathiesen ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε για την γραφή και την επίλυση ενός μοντέλου γενικής ισορροπίας τη μορφή του προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP).

7.2. Επίλυση του μοντέλου με τη χρήση αλγορίθμου μεικτής συμπληρωματικότητας

Το μοντέλο GEME3-RD είναι γραμμένο σε περιβάλλον GAMS. Η πιο απλή του έκδοση αποτελείται από 66.000 εξισώσεις με ισάριθμες μεταβλητές ενώ στην πλήρη του μορφή ξεπερνά τις 616.000 εξισώσεις με ισάριθμες μεταβλητές, το οποίο λύνει αναδρομικά για κάθε χρονιά ανά πενταετία. Οι εξισώσεις είναι γραμμένες σε μορφή μεικτής συμπληρωματικότητας και για την επίλυσή τους χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος PATH (Dirkse and Ferris 1995). Ο αλγόριθμος PATH είναι κατάλληλα φτιαγμένος για να λύνει μοντέλα που μπορούν να γραφούν ως προβλήματα συμπληρωματικότητας.

Ο αλγόριθμος PATH χρησιμοποιεί την μέθοδο Newton-Raphson για την επίλυση του προβλήματος. Η ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου είναι σημαντικά μεγάλη, ειδικά στην περίπτωση που οι αρχικές τιμές των μεταβλητών είναι «αρκετά κοντά» στην λύση του προβλήματος. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει πιθανότητα μη σύγκλισης της μεθόδου. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι όσο ο αριθμός των εξισώσεων/μεταβλητών μεγαλώνει τόσο πιο αργά επιτυγχάνεται η σύγκλιση. Αυτό καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη νέου αλγορίθμου που να ξεπερνά τα προβλήματα επίλυσης.

7.3. Επαναληπτικός αλγόριθμος για την επίλυση του υποδείγματος γενικής ισορροπίας

7.3.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής αναπτύχθηκε ένας πειραματικός αλγόριθμος, ο οποίος δίνει λύση στα προβλήματα σύγκλισης όσο αυξάνει η διάσταση του μοντέλου. Σε περίπτωση που επιθυμούμε να λύσουμε όλες τις περιόδους μαζί ο αριθμός των εξισώσεων μπορεί να ξεπεράσει τα 6.000.000.

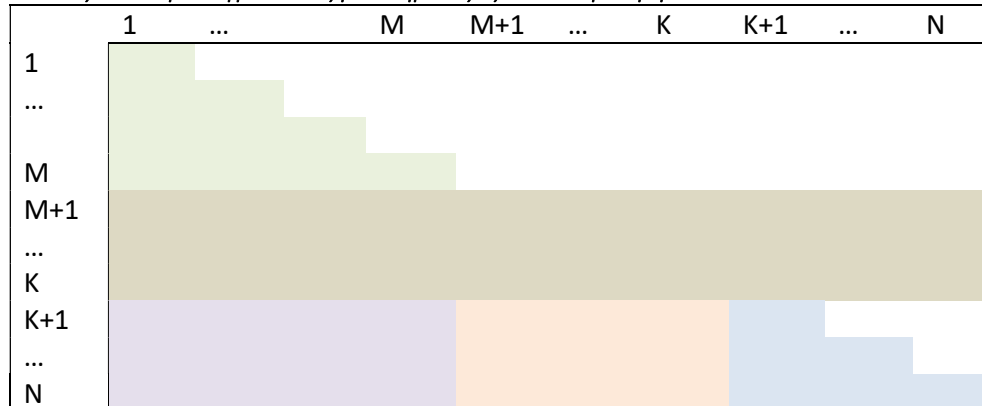
Η επίλυση ενός μοντέλου υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους, είτε λύνοντας το μοντέλο διαχρονικά είτε αναδρομικά χρονιά.

7.3.2. Επαναληπτική μέθοδος

Η βασική ιδέα της μεθόδου στηρίζεται στα χαρακτηριστικά των μοντέλων γενικής ισορροπίας. Έχουν μοναδική λύση εξαιτίας της κυρτότητας των συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται. Αυτή η κυρτότητα κάνει τον αλγόριθμο PATH να συγκλίνει πολύ γρήγορα (σε 4 επαναλήψεις περίπου). Η προτεινόμενη μέθοδος

χρησιμοποιεί την τεχνική της μεθόδου Gauss- Seidel (Jeffreys & Jeffreys, 1988), με την έννοια ότι λύνει ένα σχεδόν τριγωνικό σύστημα εξισώσεων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Πίνακας 7-1: Παράδειγμα διάταξη συστήματος εξισώσεων με την μέθοδο Gauss - Seidel



Οι πρώτες εξισώσεις $\{1, \dots, M\}$ είναι ο πρόλογος, μπορούν να λυθούν η μία μετά την άλλη στην σειρά, με αναδρομικό τρόπο. Οι εξισώσεις $\{M+1, \dots, K\}$ είναι οι εξισώσεις που λύνονται ταυτόχρονα και προσδιορίζουν την πραγματική διάσταση του μοντέλου (με την έννοια ποιες εξισώσεις πρέπει να λυθούν ταυτόχρονα).

Η επαναληπτική μέθοδο Gauss – Seidel είναι μια αναδρομική μέθοδος, η οποία αρχικά λύνει το πρώτο σετ εξισώσεων $\{1, \dots, M\}$ στην συνέχεια χρησιμοποιεί προηγούμενες λύσεις για τις άγνωστες μεταβλητές για να λύσει αναδρομικά όλες τις εξισώσεις (παίρνοντας ουσιαστικά τη μορφή ενός τριγωνικού συστήματος).

Σε ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας η πραγματική διάσταση του μοντέλου (με την έννοια που ορίστηκε παραπάνω) καθορίζεται από τον αριθμό των εξισώσεων του 2^{ου} σετ ανισο-ισοτήτων (συνθήκες εκκαθάρισης της αγοράς).

Οι υπόλοιπες εξισώσεις του μοντέλου είναι εύκολο να λυθούν με αναδρομικό τρόπο. Οπότε το πρόβλημα αναγάγετε στην επίλυση του 2^{ου} σετ. Το χαρακτηριστικό αυτού του σετ είναι ότι το αριστερό μέλος της εξίσωσης είναι η προσφορά και το δεξί μέλος είναι η ζήτηση και η εξίσωση, συνήθως, είναι αδύνατο να λυθεί ως προς την δυϊκή μεταβλητή. Βάσει της οικονομικής θεωρίας, όταν η προσφορά είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση, για να ισούται η εξίσωση με ισότητα, θα πρέπει η τιμή της δυϊκής μεταβλητής να μειωθεί (αν εξαιρέσουμε βέβαια τις λύσεις στα άκρα). Σε αυτήν την ιδέα στηρίζεται η προτεινόμενη μέθοδος. Η μέθοδος λύνει αναδρομικά το παραπάνω σύστημα εξισώσεων, εφαρμόζοντας ως τιμές για τις άγνωστες μεταβλητές όχι τις τιμές της προηγούμενης επανάληψης, αλλά μια

προσέγγιση. Η προσέγγιση αυτή υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την απόκλιση της «προσφοράς» από την «ζήτηση» και εφαρμόζοντας την σε μια γνησίως φθίνουσα συνάρτηση. Αναλυτικά η προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1° βήμα

Γραφή του μοντέλου στην μορφή του (Mathiesen, 1985).

2° βήμα

Δίνουμε αρχικές τιμές (a_i) στις δυϊκές μεταβλητές (p_i^0) της 2^{ης} ομάδας εξισώσεων:

$$p_i^0 = a_i, \quad \forall i \in \{M + 1, K\}$$

3° βήμα

Και βάζουμε τις υπόλοιπες εξισώσεις του μοντέλου σε τέτοια σειρά, ώστε να μπορούν να λυθούν αναδρομικά:

$$\begin{aligned} x_1 &= eq_1(b_1) \\ x_2 &= eq_2(x_1) \\ &\dots \\ x_M &= eq_3(x_1, \dots, x_{M-1}) \\ x_{K+1} &= eq_{K+1}(x_1, \dots, x_M, p_i^0, \quad i \in \{M + 1, K\}) \\ x_{K+2} &= eq_{K+2}(x_1, \dots, x_M, p_i^0, x_{K+1}, \quad i \in \{M + 1, K\}) \\ &\dots \\ x_N &= eq_N(x_1, \dots, x_M, p_i^0, x_{K+1}, \dots, x_{N-1}, \quad i \in \{M + 1, K\}) \end{aligned}$$

4° βήμα

Ελέγχουμε τις αποκλίσεις (*error_i*) «προσφοράς» (S_i) και «ζήτησης» (D_i) της 2^{ης} ομάδας εξισώσεων, χρησιμοποιώντας τις τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών (x) αρχικές προσεγγίσεις $x_{i*} = a_{i*}$, όπου είναι πεπλεγμένο το αριστερό (L_i) και δεξί (R_i) μέλος της κάθε εξίσωσης:

$$S_i = L_i(x, x_{i*})$$

$$D_i = R_i(x, x_{i*})$$

$$error_i = \frac{D_i}{S_i} - 1$$

5° βήμα

Η ισορροπία βρίσκεται όταν όλες οι εξισώσεις ισούνται με ισότητα. Και για να ισχύει αυτό αρκεί οι εξισώσεις της δεύτερης ομάδας να ικανοποιούνται σε ισότητα.

Οπότε, αν οι αποκλίσεις είναι μικρότερες από ($error_i < 10^{-12} \quad \forall i \in \{M + 1, K\}$) τότε σταματάμε.

Αν είναι μεγαλύτερες ($error_i \geq 10^{-12} \quad i \in \{M + 1, K\}$), χρησιμοποιούμε τις αποκλίσεις για να βρούμε μια καλύτερη προσέγγιση για τις δυϊκές μεταβλητές της 2ης ομάδας εξισώσεων. Έτσι έχουμε:

$$p_i^1 = p_i^0 \cdot g\left(\frac{D_i}{S_i}; e_i^0\right)$$

Όπου $g(\cdot)$ είναι γνησίως φθίνουσα συνάρτηση με τιμές γύρω από το ένα (με $g(1) = 1$) και e_i^0 , καθορίζει την κλίση της συνάρτησης και παίρνει θετικές τιμές ανάμεσα σε καθορισμένα όρια $[lo_i, up_i]$.

6° βήμα

Επαναλαμβάνουμε δύο φορές τα βήματα 3,4,5.

7° βήμα

Χρησιμοποιούμε τις δύο προηγούμενες αποκλίσεις και παίρνουμε μια καλύτερη εκτίμηση⁵⁵ για την παράμετρο (e_i^{lp}).

$$e_i^{lp} = g^{-1}\left(\frac{\frac{D_i^{lp-1}}{S_i^{lp-1}}}{\frac{D_i^{lp-2}}{S_i^{lp-2}}}; \frac{p_i^{lp-1}}{p_i^{lp-2}}\right)$$

8° βήμα

Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3,4,7,8.

⁵⁵ Χρησιμοποιώντας παράλληλη επεξεργασία μπορούμε να επιτύχουμε πιο γρήγορα καλύτερη προσέγγιση για το (e).

Αν οι αποκλίσεις είναι μικρότερες από ($error_i < 10^{-12} \quad \forall i \in \{M + 1, K\}$), τότε σταματάμε.

Αν είναι μεγαλύτερες ($error_i \geq 10^{-12} \quad i \in \{M + 1, K\}$), χρησιμοποιούμε τις αποκλίσεις για να βρούμε μια καλύτερη προσέγγιση για τις δυϊκές μεταβλητές της 2ης ομάδας εξισώσεων. Έτσι έχουμε:

$$p_i^{lp} = p_i^{lp-1} \cdot g\left(\frac{D_i^{lp}}{S_i^{lp}}; e_i^{lp}\right)$$

7.3.3. Αποτελέσματα

Για τον έλεγχο της σύγκλισης της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας των (Shoven and Whalley 1984), το οποίο τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να μεταβάλλεται η διάστασή του (2X2X2, δηλαδή 2 συντελεστές παραγωγής, 2 προϊόντα και 2 χώρες / νοικοκυριά) και οι τιμές των παραμέτρων να παίρνουν τυχαίες τιμές. Η προτεινόμενη μέθοδος συγκρίνεται με έτοιμο αλγόριθμο επίλυσης (PATH) ο οποίος ακολουθεί τη μεθοδολογία των Newton – Rampson. Ενώ για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε ένας Intel® Core™ i7 4820K CPU @ 3.70 GHz, 32GB RAM, 64-bit. Και ως συνάρτηση $g(\cdot)$, χρησιμοποιήθηκε η $g(x) = x^{-\varepsilon}$.

Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι σε μικρή διάσταση του μοντέλου οι δύο αλγόριθμοι επίλυσης δεν είχαν μεγάλες διαφορές στο χρόνο επίλυσης. Παρόλα αυτά, η ταχύτητα σύγκλισης του αλγορίθμου PATH εξαρτάται από τις αρχικές τιμές. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ήταν πιο γρήγορος σε όλες τις περιπτώσεις απαιτώντας σχεδόν τη μισή μνήμη του υπολογιστή. Ο χρόνος επίλυσης του αλγορίθμου PATH αυξάνει εκθετικά, ενώ του προτεινόμενου αλγορίθμου (KARK METHOD) έχει γραμμική σχέση, όπως αποδεικνύεται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 7-1, Σχήμα 7-2).

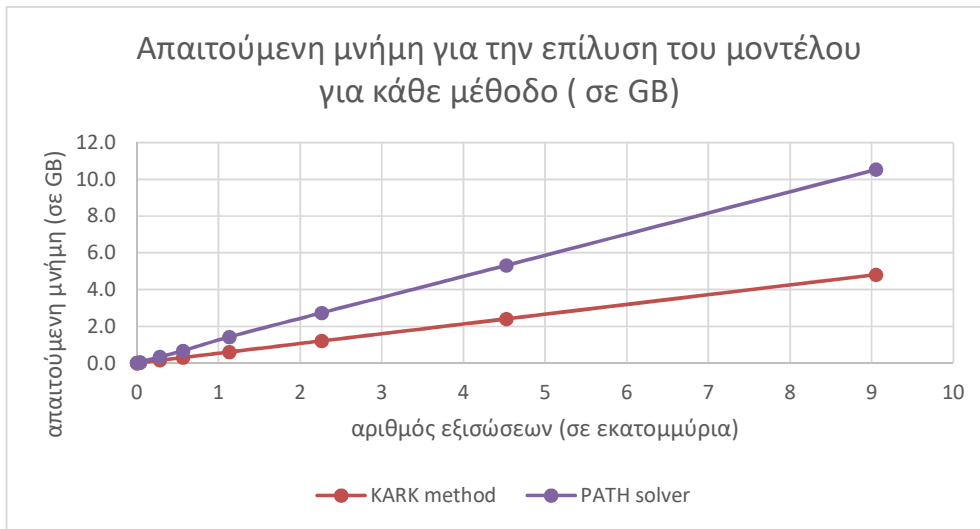
Στον πίνακα (Πίνακας 7-2) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον αλγόριθμο PATH με αρχικές τιμές από τον προτεινόμενο αλγόριθμο, με απόκλιση από τη λύση της τάξεως του 10^{-2} . Η ταχύτητα επίλυσης του προτεινόμενου αλγορίθμου παρέμεινε μεγαλύτερη παρόλο που ξεκινούσε από αρχικές τιμές πολύ μακριά από τη λύση. Ενώ, όταν ο αλγόριθμος PATH ξεκινούσε από ίδιες αρχικές τιμές (με τον προτεινόμενο αλγόριθμο), τις περισσότερες φορές δεν υπήρχε σύγκλιση.

Πίνακας 7-2: Προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τον PATH Solver με αρχικές τιμές από τον προτεινόμενο αλγόριθμο (KARK METHOD) με αρχικό συνολικό σφάλμα $O(10^{-2})$.

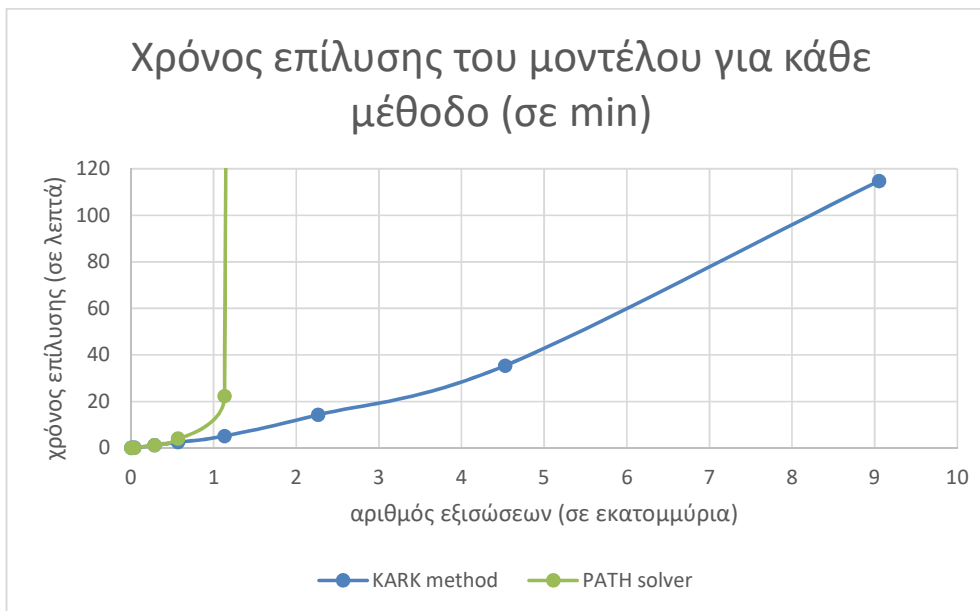
Path solver								
					Iterations			
	Factors	Sectors	Regions	Equations	Main	Minor	MB	Running time
01	2	2	2	38	1	1	6	0.0019
02	2	4	4	164	1	1	6	0.0019
03	2	8	8	872	2	2	7	0.0039
04	2	16	16	5456	2	2	12	0.0109
05	2	32	32	38048	2	2	51	0.0715
06	2	64	64	282944	2	2	353	1.2052
07	2	64	128	565760	2	2	689	4.0201
08	2	64	256	1131392	4	4	1457	22.2646
09	2	64	512	2262656			2800	time limit
10	2	64	1024	4525184			5450	Time limit
11	2	64	2048	9050240			10786	Time limit

Πίνακας 7-3: Προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο (KARK METHOD) με αρχικές τιμές μακριά από τη λύση ισορροπίας.

KARK method							
					Iterations		
	Factors	Sectors	Regions	Equations	Main	MB	Running time
01	2	2	2	38	42	4	0.0003
02	2	4	4	164	45	4	0.0006
03	2	8	8	872	60	4	0.0021
04	2	16	16	5456	69	7	0.0127
05	2	32	32	38048	74	25	0.0949
06	2	64	64	282944	84	160	1.1602
07	2	64	128	565760	77	313	2.4232
08	2	64	256	1131392	73	621	5.1031
09	2	64	512	2262656	86	1236	14.1994
10	2	64	1024	4525184	81	2466	35.3762
11	2	64	2048	9050240	90	4926	114.7656



Σχήμα 7-1: Απαιτούμενη μνήμη για την επίλυση του μοντέλου (κάθετος άξονας) σε συνάρτηση με το πλήθος των εξισώσεων του μοντέλου (οριζόντιος άξονας), μεταξύ των αλγορίθμων PATH και KARK METHOD.



Σχήμα 7-2: Χρόνος επίλυσης του μοντέλου (κάθετος άξονας) σε συνάρτηση με το πλήθος των εξισώσεων του μοντέλου (οριζόντιος άξονας), μεταξύ των αλγορίθμων PATH και KARK METHOD.

Συμπερασματικά, ο προτεινόμενος αλγόριθμος επίλυσης αποδεικνύεται ότι είναι πιο γρήγορος σε σύγκριση με τον αλγόριθμο PATH, ενώ απαιτεί σχεδόν τη μισή υπολογιστική μνήμη στην κάθε προσομοίωση. Το μειονέκτημά του είναι ότι ο

τρόπος γραφής του αλγορίθμου δεν είναι τυποποιημένος, όπως στον αλγόριθμο PATH, τον οποίο μπορείς να βρεις σε διάφορες γλώσσες μοντελοποίησης (όπως GAMS), καθιστώντας την χρήση του αλγορίθμου πιο εύκολη για τον χρήστη. Ενώ, ο προτεινόμενος αλγόριθμος απαιτεί την γραφή μιας επαναληπτικής μεθόδου, η οποία απαιτεί την γραφή του μοντέλου με αναδρομικό τρόπο, όπως αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο.

7.4. Επαναληπτικός αλγόριθμος για την επίλυση του υποδείγματος γενικής ισορροπίας με ορθολογικές προσδοκίες

7.4.1. Εισαγωγή

Για την επίλυση των περισσότερων δυναμικών μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας μεγάλης κλίμακας (DCGE) χρησιμοποιούνται αναδρομικοί αλγόριθμοι επίλυσης (recursive dynamic). Η επίλυση ενός τέτοιου μοντέλου με αναδρομικό τρόπο (δηλαδή χρονιά-χρονιά) προϋποθέτει ότι όλες οι εξισώσεις την χρονική στιγμή t δεν εξαρτώνται από μετέπειτα χρονική στιγμή ($t+1, t+2, \dots$). Με άλλα λόγια υποθέτουν στατικές προσδοκίες για το μέλλον. Στις στατικές προσδοκίες, οι αναμενόμενες μελλοντικές τιμές των μεταβλητών ορίζονται είτε ως συναρτήσεις των τρεχουσών ή προηγούμενων τιμών των μεταβλητών. Το πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων είναι ότι εξαιτίας της αναδρομικής τους επίλυσης μειώνεται κατά πολύ η διάστασή τους. Οι (Dixon et al. 2005) παρουσίασαν μια επαναληπτική μέθοδο, κατά την οποία τα μοντέλα DCGE μπορούν να επιλυθούν αναδρομικά υποθέτοντας ορθολογικές προσδοκίες για το μέλλον.

Ορθολογικές προσδοκίες είναι οι μαθηματικές προσδοκίες για τη μελλοντική εξέλιξη μιας μεταβλητής, βασισμένες στο σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών. Η υπόθεση των ορθολογικών προσδοκιών προτάθηκε αρχικά από τον (Muth 1961), ενώ η διάδοσή της στη μακροοικονομική ανάλυση οφείλει πολλά στον Lucas (Lucas 1972). Τα μοντέλα γενικής ισορροπίας που ενσωματώνουν ορθολογικές προσδοκίες έχουν αναπτυχθεί από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Ενώ, η εφαρμογή τους έχει περιοριστεί εξαιτίας της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και της δυσκολίας κατανόησης των αποτελεσμάτων.

Η υπόθεση των ορθολογικών προσδοκιών ορίζεται ως η βέλτιστη πρόβλεψη η οποία βασίζεται σε όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες. Έτσι, τα αποτελέσματα του μοντέλου (ως αποτέλεσμα υπόθεσης ορθολογικών προσδοκιών), τα οποία αν χρησιμοποιηθούν ως προβλέψεις για το μέλλον, δεν διαφέρουν συστηματικά από τα αποτελέσματα της ισορροπίας της αγοράς. Δηλαδή, η υπόθεση ορθολογικών προσδοκιών υποστηρίζει ότι οι αποφασίζοντες δεν κάνουν συστηματικά σφάλματα

κατά την πρόβλεψή τους για το μέλλον, και ότι οι αποκλίσεις από την πραγματικότητα, δηλαδή έχοντας πλήρη πληροφόρηση, (perfect foresight) είναι τυχαίες. Σε ένα οικονομικό μοντέλο, αυτό συνήθως μοντελοποιείται υποθέτοντας ότι η αναμενόμενη τιμή μιας μεταβλητής είναι ίση με την αναμενόμενη τιμή που προβλέπεται από το μοντέλο. Με άλλα λόγια, η εκ των προτέρων τιμή αναμένεται να είναι ίση με την ορθολογική προσδοκία:

$$E_t x_{t+\tau} = E(x_{t+\tau} | Inf_t) \quad (7.1)$$

Όπου, Inf_t είναι το σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών.

7.4.2. Αλγόριθμος επίλυσης μεγάλης κλίμακας DCGE με την υπόθεση των ορθολογικών προσδοκιών στο GEMEZ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ένας απλός αλγόριθμος για την επίλυση μεγάλης κλίμακας μοντέλου DCGE με την υπόθεση των ορθολογικών προσδοκιών. Για την δοκιμή αυτής της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GEMEZ. Η βασική δυναμική εξίσωση του GEMEZ είναι η εξίσωση των επενδύσεων⁵⁶.

Θεωρείται ότι η επένδυση του κλάδου (j) της περιοχής (r) εξαρτάται από την παρακάτω εξίσωση, η οποία αποτελείται από την ζήτηση για κεφάλαιο ($K_{j,r,t}$), την μεταβολή της ζήτησης του κλάδου ($GR_{j,r,t}$), την αναμενόμενη απόδοση κεφαλαίου του κλάδου ($ROR_{j,r,t}$), από την απαξίωση του κεφαλαίου ($\delta_{j,r}$), την τεχνολογική πρόοδο του κεφαλαίου ($tgk_{j,r,t}$) και από δύο παραμέτρους που εκτιμούνται οικονομετρικά ($a0_{j,r}, a1_{j,r}$). Όπου $\left(ROR_{j,r,t} = \frac{\frac{pK_{j,r,t+1}}{p_{t+1}}}{\frac{pI_{j,r,t}}{p_t} - (RL_{j,r,t} + \delta_{j,r})} \right)$, όπου ($pK_{j,r,t+1}$) η αμοιβή κεφαλαίου, (p_t) ο γενικός δείκτης τιμών, ($pI_{j,r,t}$) το μοναδιαίο κόστος επένδυσης, ($RL_{j,r,t}$) το επιτόκιο δανεισμού του κλάδου.

$$I_{j,r,t} = f_{j,r}(K_{j,r,t}, GR_{j,r,t}, ROR_{j,r,t}, \delta_{j,r}, tgk_{j,r,t}, a0_{j,r}, a1_{j,r}) \quad (7.2)$$

Για να μπορεί να επιλυθεί το μοντέλο αναδρομικά απαιτείται τροποποίηση της παραπάνω εξίσωσης. Έτσι, είναι αναγκαία μια επαναληπτική μέθοδος κατά την οποία σε κάθε επανάληψη το μοντέλο να λύνεται αναδρομικά και η λύση της οποίας να συγκλίνει στην λύση της παραπάνω εξίσωσης.

⁵⁶ Για απλοποίηση της παρουσίασης, η περιγραφή του αλγορίθμου επίλυσης περιορίζεται στην εξίσωση επένδυσης. Ίδια τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις δυναμικές εξισώσεις του μοντέλου που είναι αποτέλεσμα διαχρονικής βελτιστοποίησης.

Στο πρώτο βήμα ($l = 1$) της επαναληπτικής μεθόδου για κάθε χρονική στιγμή t , χρησιμοποιούμε μια αρχική προσέγγιση για τις αναμενόμενες τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης, οι οποίες εξαρτώνται από επόμενες περιόδους ($GR_{j,r,t}^1, ROR_{j,r,t}^1$). Οπότε έχουμε:

$$I_{j,r,t}^1 = f_{j,r}(K_{j,r,t}, GR_{j,r,t}^1, ROR_{j,r,t}^1; \delta_{j,r}, t g k_{j,r,t}, a_{0,j,r}, a_{1,j,r})$$

Όπου:

$$GR_{j,r,t}^1 = GR_{j,r,t}^{SE} \cdot \lambda_{1,j,r}^{GR} + GR_{j,r,t-1} \cdot (1 - \lambda_{1,j,r}^{GR})$$

$$ROR_{j,r,t}^1 = ROR_{j,r,t}^{SE} \cdot \lambda_{1,j,r}^{ROR} + ROR_{j,r,t-1} \cdot (1 - \lambda_{1,j,r}^{ROR})$$

$$GR_{j,r,t}^{SE} = st g r_{j,r,t}$$

$$ROR_{j,r,t}^{SE} = \frac{p K_{j,r,t}}{p I_{j,r,t} \cdot (R L_{j,r,t} + \delta_{j,r})}$$

$$\lambda_{1,j,r}^{GR} = 1$$

$$\lambda_{1,j,r}^{ROR} = 1$$

SE: στατικές προσδοκίες (static expectations)

$$MGR_{j,r,t}^1 = GR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

$$MROR_{j,r,t}^1 = ROR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

Και για $t = T$,

$$MGR_{j,r,T}^1 = MGR_{j,r,T-1}^1$$

$$MROR_{j,r,T}^1 = MROR_{j,r,T-1}^1$$

Στο δεύτερο βήμα ($l = 2$) της επαναληπτικής μεθόδου για κάθε χρονική στιγμή t , χρησιμοποιούμε ως προσέγγιση για τις αναμενόμενες τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης ($GR_{j,r,t}^2, ROR_{j,r,t}^2$), την λύση του μοντέλου του πρώτου βήματος ($l = 1$). Οπότε έχουμε:

$$I_{j,r,t}^2 = f_{j,r}(K_{j,r,t}, GR_{j,r,t}^2, ROR_{j,r,t}^2; \delta_{j,r}, t g k_{j,r,t}, a_{0,j,r}, a_{1,j,r})$$

Όπου:

$$GR_{j,r,t}^2 = MGR_{j,r,t}^1$$

$$ROR_{j,r,t}^2 = MROR_{j,r,t}^1$$

$$MGR_{j,r,t}^2 = GR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

$$MROR_{j,r,t}^2 = ROR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

Και για $t = T$,

$$MGR_{j,r,T}^2 = MGR_{j,r,T-1}^2$$

$$MROR_{j,r,T}^2 = MROR_{j,r,T-1}^2$$

Για ($l > 2$), χρησιμοποιούμε ως προσέγγιση για τις αναμενόμενες τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης ($GR_{j,r,t}^l, ROR_{j,r,t}^l$), τις ακόλουθες σχέσεις:

$$I_{j,r,t}^l = f_{j,r}(K_{j,r,t}, GR_{j,r,t}^l, ROR_{j,r,t}^l; \delta_{j,r}, t g k_{j,r,t}, a0_{j,r}, a1_{j,r})$$

Όπου:

$$GR_{j,r,t}^l = adj_{l,j,r}^{GR} \cdot MGR_{j,r,t}^{l-1} + (1 - adj_{l,j,r}^{GR}) \cdot GR_{j,r,t}^{l-1}$$

$$ROR_{j,r,t}^l = adj_{l,j,r}^{ROR} \cdot MROR_{j,r,t}^{l-1} + (1 - adj_{l,j,r}^{ROR}) \cdot ROR_{j,r,t}^{l-1}$$

$$MGR_{j,r,t}^l = GR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

$$MROR_{j,r,t}^l = ROR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

Και για $t = T$,

$$MGR_{j,r,T}^l = MGR_{j,r,T-1}^l$$

$$MROR_{j,r,T}^l = MROR_{j,r,T-1}^l$$

Όπου ($adj_{l,j,r}^{GR}$) και ($adj_{l,j,r}^{ROR}$).

Η επαναληπτική διαδικασία σταματάει όταν οι προσεγγίσεις των αναμενόμενων μεταβλητών στο βήμα N ισούνται με τη λύση αυτών των μεταβλητών ή ισοδύναμα όταν οι λύση του μοντέλου δεν αλλάζει από βήμα. Δηλαδή:

$$MGR_{j,r,t}^N = MGR_{j,r,t}^{N-1}$$

$$MROR_{j,r,t}^N = MROR_{j,r,t}^{N-1}$$

Αυτή η επαναληπτική διαδικασία πραγματοποιείται όταν το μοντέλο επιλύεται για πρώτη φορά. Για τις επόμενες προσομοιώσεις του μοντέλου χρησιμοποιούνται προηγούμενες λύσεις ως αρχικές τιμές και ως αρχική προσέγγιση των αναμενόμενων τιμών των μεταβλητών. Επομένως, αν υποθέσουμε ότι στην

προηγούμενη προσομοίωση το μοντέλο συνέκλινε στο βήμα N , τότε η επαναληπτική διαδικασία δίνεται ως ακολούθως:

Για $(l + N > N)$, χρησιμοποιούμε ως προσέγγιση για τις αναμενόμενες τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης $(GR_{j,r,t}^{l+N}, ROR_{j,r,t}^{l+N})$, τις ακόλουθες σχέσεις:

$$I_{j,r,t}^{l+N} = f_{j,r}(K_{j,r,t}, GR_{j,r,t}^{l+N}, ROR_{j,r,t}^l; \delta_{j,r}, tgk_{j,r,t}, a0_{j,r}, a1_{j,r})$$

Όπου:

$$GR_{j,r,t}^{l+N} = adj_{l+N,j,r}^{GR} \cdot MGR_{j,r,t}^{l+N-1} + (1 - adj_{l+N,j,r}^{GR}) \cdot GR_{j,r,t}^{l+N-1}$$

$$ROR_{j,r,t}^{l+N} = adj_{l+N,j,r}^{ROR} \cdot MROR_{j,r,t}^{l+N-1} + (1 - adj_{l+N,j,r}^{ROR}) \cdot ROR_{j,r,t}^{l+N-1}$$

$$MGR_{j,r,t}^{l+N} = GR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

$$MROR_{j,r,t}^{l+N} = ROR_{j,r,t}, \text{ για } \forall t < T$$

Και για $t = T$,

$$MGR_{j,r,T}^{l+N} = MGR_{j,r,T-1}^{l+N}$$

$$MROR_{j,r,T}^{l+N} = MROR_{j,r,T-1}^{l+N}$$

Όπου $(adj_{l+N,j,r}^{GR})$ και $(adj_{l+N,j,r}^{ROR})$.

Η επαναληπτική διαδικασία σταματάει όταν οι προσεγγίσεις των αναμενόμενων μεταβλητών στο βήμα $M + N$ ισούνται με τη λύση αυτών των μεταβλητών ή ισοδύναμα όταν η λύση του μοντέλου δεν αλλάζει από βήμα. Δηλαδή:

$$MGR_{j,r,t}^{M+N} = MGR_{j,r,t}^{M+N-1}$$

$$MROR_{j,r,t}^{M+N} = MROR_{j,r,t}^{M+N-1}$$

Κεφάλαιο 8

8. Κατασκευή σεναρίου αναφοράς και ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου GEME3-RD

8.1. Εισαγωγή

Τα μοντέλα γενικής ισορροπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων εναλλακτικών οικονομικών πολιτικών (π.χ. μεταβολή φορολογικών συντελεστών, επιβολή δασμών, επιδοτήσεις κλπ.) στην ανταγωνιστικότητα, στην οικονομική ανάπτυξη και στην απασχόληση. Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται για την μελέτη των μακροοικονομικών επιπτώσεων των πολιτικών μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παγκόσμιες προκλήσεις (Pantelis Capros et al. 2014a).

Ο στόχος της παρούσας ενότητας είναι η παρουσίαση των προσομοιώσεων, που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να απεικονιστούν οι ιδιότητες του μοντέλου, που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής.

Το υπόλοιπο της ενότητας διαρθρώνεται ως εξής: το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή του σεναρίου αναφοράς, που κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας το GEME3-RD, το τρίτο τμήμα παρέχει την περιγραφή του συνόλου των διαταραχών, που εξετάστηκαν, οι επόμενες ενότητες αναλύουν τις μακροοικονομικές, κλιματικές και τεχνολογικές επιπτώσεις των εναλλακτικών διαταραχών που εξετάστηκαν, ενώ στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

8.2. Σενάριο αναφοράς

Το σενάριο αναφοράς αποτελεί ένα σενάριο βάσης το οποίο θεωρείται το σημείο αναφοράς για να αντληθούν συμπεράσματα σχετικά με τις επιπτώσεις της εφαρμογής μιας συγκεκριμένης πολιτικής. Η χρησιμότητα της ποσοτικοποίησής του έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί σημείο σύγκρισης για τα υπόλοιπα σενάρια που ποσοτικοποιούνται. Το σενάριο αναφοράς αποτελεί μια προέκταση των ήδη υπαρχόντων πολιτικών και μέτρων μέχρι το 2050.

Οι υποθέσεις για την εξέλιξη του πληθυσμού και της οικονομικής ανάπτυξης είναι οι κύριες δυνάμεις για την εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Η εξέλιξη του πληθυσμού βασίζονται στις προβλέψεις

του οργανισμού Ηνωμένων Εθνών ((UN) 2013). Ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να αυξηθεί από 6,8 δισεκατομμύρια ανθρώπους το 2010 σε 9,3 δισεκατομμύρια το 2050.

Στο σενάριο αναφοράς γίνεται η υπόθεση ότι το παγκόσμιο ΑΕΠ αυξάνεται κατά 3% ετησίως κατά μέσο όρο την περίοδο 2010-2050 (Πίνακας 8-1). Οι προβλέψεις για την ΕΕ στηρίζονται στην μελέτη EPC/DG ECFIN Ageing Report 2012 (Commissison 2012).

Πίνακας 8-1: Μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης του ΑΕΠ στο σενάριο αναφοράς

Average annual growth of GDP in GEM-E3-RD regions (in %p.a.)					
	2005-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
World	2.4	3.5	3.1	2.6	2.4
EU28	0.9	1.5	1.5	1.3	1.3
NOAM	1.0	2.4	1.9	1.9	1.8
CHN	10.9	9.2	5.7	3.0	2.2
WPAC	1.3	2.3	1.7	1.2	1.1
ENEXP	4.1	4.6	3.5	2.9	2.0
ROW	5.3	5.4	5.0	4.5	4.1

Το σενάριο αναφοράς αντανακλά σε μεγάλο βαθμό τις βασικές υποθέσεις ενέργειας και κλιματικής πολιτικής του σεναρίου αναφοράς της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, όπως ορίζεται στο «Energy Trends 2050" (P Capros, De Vita, et al. 2013). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στις αναπτυσσόμενες περιοχές αναμένεται να αυξηθούν κατά την περίοδο 2010-2050, ως αποτέλεσμα της συνεχιζόμενης ανάπτυξης. Οι εκπομπές στην Κίνα προβλέπεται να υπερδιπλασιαστούν από το 2010 έως και το 2040, λόγω των υψηλών ρυθμών ανάπτυξης του ΑΕΠ και της σχετικά υψηλής έντασης άνθρακα της ταχέως αυξανόμενης κινεζικής παραγωγής. Οι Ευρωπαϊκές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται αισθητά κατά την περίοδο 2010-2050, ως αποτέλεσμα των φιλόδοξων κλιματικών πολιτικών στο σενάριο αναφοράς. Οι εκπομπές στις άλλες ανεπτυγμένες περιοχές του ΟΟΣΑ προβλέπονται επίσης να ακολουθήσουν πτωτική πορεία κατά την περίοδο 2010-2050 (Πίνακας 8-2).

Πίνακας 8-2: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε Gtn CO₂

Reference carbon emissions in Gtn of CO ₂					
	2010	2020	2030	2040	2050
World	28.7	34.1	39.0	41.8	39.3
EU28	3.6	3.3	2.9	2.6	2.3
NOAM	5.8	5.6	5.1	4.6	3.7
CHN	6.8	10.3	13.1	14.0	12.4
WPAC	2.1	2.0	1.9	1.7	1.3
ENEXP	4.4	4.8	5.2	5.5	5.4
ROW	6.0	8.1	10.8	13.4	14.1

8.2.1. Οι τομείς καθαρής ενέργειας

Οι τομείς που παράγουν τις προηγμένες ενεργειακές τεχνολογίες ή διαφορετικά τεχνολογίες καθαρής ενέργειας αντιπροσωπεύαν μόνο το 0.1% του παγκόσμιου ΑΕΠ το 2010. Μεταξύ των προηγμένων τεχνολογιών οι ανεμογεννήτριες και τα βιοκαύσιμα είναι οι πιο ώριμες τεχνολογίες με σχετικά περιορισμένες δυνατότητες μείωσης του κόστους παραγωγής τους. Το 2010, οι κύριοι παραγωγοί ανεμογεννητριών ήταν η ΕΕ και η Κίνα (βλέπε Πίνακας 8-3). Η παραγωγή τους αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες ακόμη και κάτω από μετριοπαθείς πολιτικές για την αντιμετώπιση του κλίματος, όπως είναι αυτές του σεναρίου αναφοράς. Τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα συμβατικά και αναμειγνύονται με την βενζίνη και το πετρέλαιο. Οι χώρες που έχουν ήδη εφαρμόσει ειδικές πολιτικές για αύξηση της χρήσης των βιοκαυσίμων στις μεταφορές ως ένας τρόπος υποκατάστασης μακριά από το πετρέλαιο είναι η ΕΕ, η Βόρεια Αμερική και η Βραζιλία.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν καταγράψει μια σημαντική μείωση των επενδυτικών δαπανών κατά τα τελευταία χρόνια. Η περιφερειακή παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ έχει υποστεί ταχεία μετατροπή μετά το 2005 με σημαντική διάβρωση της ιαπωνικής κυριαρχίας και την ανάδυση της Κίνας ως κυρίαρχο παίκτη στην παγκόσμια αγορά, κυρίως λόγω της επέκτασης των κινεζικών εξαγωγών προς την Ευρώπη. Το 2010, η κινεζική παραγωγή αντιπροσώπευε το 42% της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ σημαντικοί παραγωγοί είναι, επίσης, η ΕΕ (με μερίδιο 16% στην παγκόσμια αγορά), η Ταιβάν⁵⁷ (15%) και η Ιαπωνία-Κορέα (11%). Οι τεχνολογίες CCS είναι σχεδόν ανύπαρκτες έως το 2010. Όσο αφορά στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αθροιστικά οι παγκόσμιες πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανέρχονταν σε μόλις 20.000 αυτοκίνητα το 2010 (αντιπροσωπεύουν μόνο 0,003% του παγκόσμιου στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων). Το 2010, οι

⁵⁷ Η Ταιβάν συμπεριλαμβάνεται στην περιοχή του μοντέλου «Υπόλοιπος κόσμος»

σημαντικότερες περιοχές παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήταν η Βόρεια Αμερική και η Ιαπωνία αντιπροσωπεύοντας από κοινού το 70% της παγκόσμιας αγοράς, ενώ το μερίδιο της ΕΕ ήταν 14%.

Πίνακας 8-3: Παραγωγή προηγμένων τεχνολογιών στο μοντέλο GEME3-RD το 2010 (σε bn. € 2005)

	Wind	Photovoltaics	CCS	Electric vehicles	Biofuels	Advanced appliances	Total
EU-28	14.8	9.3	0.00	0.00	18.6	3.2	45.9
North America	6.4	5.2	0.00	0.01	21.5	2.9	36.1
OECD Pacific	0.9	6.3	0.00	0.01	0.4	2.5	10.2
China	19.2	24.4	0.00	0.00	0.8	0.1	44.6
Energy Exporters	0.2	0.0	0.00	0.00	0.1	0.2	0.5
Rest of world	4.4	12.8	0.00	0.00	11.1	0.6	28.9
Global	45.9	58.1	0.00	0.02	52.5	9.5	166.1

Ακόμα και κάτω από τις μετριοπαθείς πολιτικές του σεναρίου αναφοράς οι προηγμένες τεχνολογίες αναμένεται να αυξηθούν από το 0.1% σαν ποσοστό του ΑΕΠ το 2010 σε 0.5% το 2050 (βλέπε Πίνακας 8-4)

Πίνακας 8-4: Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής των προηγμένων τεχνολογιών την περίοδο 2010-2050 (σε bn. € 2005) στο σενάριο αναφοράς.

	2010	2020	2030	2040	2050	Cum. 2010-2050
Wind turbines	46	96	142	197	251	6049
Photovoltaics	58	109	194	398	589	10443
CCS technologies	0	0	3	72	351	2780
Electric vehicles	0	7	75	281	596	6371
Biofuels	53	109	150	210	297	6538
Energy efficient equipment	10	87	126	168	217	5265
Total	166	409	691	1327	2302	37446

Το μερίδιο της ΕΕ στις παγκόσμιες αθροιστικές πωλήσεις των ανεμογεννητριών μεταξύ 2015 και 2050 προβλέπεται να είναι 32% (Πίνακας 8-5), ενώ της Κίνας 31%. Η υψηλή ζήτηση για ανεμογεννήτριες στην ΕΕ καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό (80% αθροιστικά) από την εγχώρια παραγωγή, ενώ οι εξαγωγές της ΕΕ αναμένεται να καλύψουν περισσότερο από το ένα πέμπτο της ζήτησης εκτός ΕΕ για την αιολική ενέργεια μέχρι το 2050. Την περίοδο 2010-2050, η Κίνα

αντιπροσωπεύει το 43% της παγκόσμιας παραγωγής των φωτοβολταϊκών στο σενάριο αναφοράς, ενώ η ΕΕ και οι περιοχές του Ειρηνικού (Ιαπωνία, Κορέα, Αυστραλία) αναμένεται να αποκτήσουν σημαντικό μερίδιο αγοράς. Η ΕΕ εισάγει περίπου το 30% των αναγκών της για φωτοβολταϊκά πάνελ (κυρίως από την Κίνα). Η ΕΕ αποτελεί τον κυρίαρχο παραγωγό του εξοπλισμού CCS (41% των παγκόσμιων πωλήσεων CCS), ενώ αναμένεται οι εξαγωγές της να αντιπροσωπεύουν το 39% της ζήτησης εκτός ΕΕ για τον εξοπλισμό CCS.

Πίνακας 8-5: Δείκτες ανταγωνιστικότητας της ΕΕ ανά προηγμένη τεχνολογία στο σενάριο αναφοράς

Μερίδια % (αθροιστικά 2015-2050)	Μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή	Ποσοστό της ζήτησης των μη ΕΕ χωρών που καλύπτεται από εξαγωγές της ΕΕ
Wind turbines	32	21
Photovoltaics	14	8
CCS technologies	41	39
Electric vehicles	38	25
Biofuels	22	0
Energy efficient equipment	47	34
Total	29	18

Η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων προβλέπεται να είναι υψηλότερη στην ΕΕ (Στην ΕΕ το μερίδιο των ηλεκτρικών στο σύνολο του στόλου των αυτοκινήτων το 2050 είναι 15,1%) σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (9,5%), αντανakλώντας τις ισχυρές πολιτικές της ΕΕ όσον αφορά τα πρότυπα εκπομπών CO₂. Έτσι η ΕΕ αντιπροσωπεύει το 38% της παγκόσμιας παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων αθροιστικά κατά την περίοδο 2010-2050. Εκτός από την ΕΕ, υψηλά ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων επιτυγχάνονται στις Ιαπωνία, Κορέα, Αυστραλία (JAK) και στις περιοχές της Βόρειας Αμερικής (NAM), που από κοινού αντιπροσωπεύουν το 37% της παγκόσμιας παραγωγής.

Η συνεχής βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των οχημάτων σε συνδυασμό με τη σταδιακή εισαγωγή των ηλεκτρικών αυτοκίνητων υποδηλώνουν ότι η ζήτηση βιοκαυσίμων αναμένεται να σταθεροποιηθεί στην ΕΕ. Επιπρόσθετα ένας ακόμα λόγος σταθεροποίησης της ζήτησης των βιοκαυσίμων είναι ο ανταγωνισμός της παραγωγής βιοκαυσίμων και τροφίμων (λόγω των πεπερασμένων καλλιεργήσιμων εκτάσεων) που οδηγεί σε αύξηση του κόστους παραγωγής των βιοκαυσίμων. Η ΕΕ δεν είναι ανταγωνιστική συγκριτικά με τους μεγάλους παραγωγούς, Βόρεια Αμερική και Βραζιλία, που αντιπροσωπεύουν από

κοινού περισσότερο από τα δύο τρίτα της παγκόσμιας παραγωγής βιοκαυσίμων την περίοδο 2010-2050, συνεπώς η παραγωγή της ΕΕ καλύπτει μόνο την εγχώρια ζήτηση και διατηρείται μέσω επιδοτήσεων.

8.3. Ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου GEME3-RD

Σκοπός του μοντέλου είναι να εξετάσει τα πιθανά αναπτυξιακά οφέλη των ενεργειακών καινοτομιών. Κινητήριος δύναμη των επενδύσεων σε Ε&Α και εν τέλει της τεχνολογικής προόδου σε τεχνολογίες χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα στα σενάρια που εξετάστηκαν είναι οι πολιτικές για την κλιματική αλλαγή που έχουν ως στόχο την απεξάρτηση της οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα. Ο σκοπός των προσομοιώσεων είναι να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του μοντέλου. Τα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής: 1) διαφορετικές τιμές άνθρακα (carbon price), 2) διαφορετικοί ρυθμοί μάθησης για τις προηγμένες τεχνολογίες και 3) ενσωμάτωση ή όχι του μηχανισμού της Έρευνας και Ανάπτυξης.

8.3.1. Φόρος του άνθρακα (1^η ομάδα)

Με το μοντέλο GEME3-RD διενεργήθηκαν πέντε σενάρια που διαφοροποιούνται ως προς το ύψος του επιβαλλόμενου φόρου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (carbon tax)⁵⁸. Ο επιπρόσθετος φόρος επιβάλλεται στην περιοχή της ΕU28 από το 2020⁵⁹ και έπειτα. Οι υποθέσεις κάθε σεναρίου παρουσιάζονται στο . Όλα τα σενάρια έχουν συγκριθεί με το σενάριο αναφοράς το οποίο έχει μετριοπαθείς πολιτικές για το κλίμα κατά την περίοδο 2010-2050. Τα διαγνωστικά σενάρια είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 8-6: Διαγνωστικά σενάρια

Όνομα σεναρίου	Ύψος φόρου (σε € 05/CO ₂ equivalent)
REF + 50	50
REF + 100	100
REF + 150	150
REF + 200	200
REF + 400	400

8.3.1.1. Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου

Μια απεξαρτημένη από τον άνθρακα οικονομία αποτελεί το κεντρικό στοιχείο των στρατηγικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την

⁵⁸ Στο κείμενο αναφέρεται ως φόρος άνθρακα.

⁵⁹ Το 2020 εφαρμόζεται μόνο ένα ποσοστό του επιπρόσθετου φόρου. Επίσης ο επιπρόσθετος φόρος εφαρμόζεται σε όλους τους κλάδους και τα νοικοκυριά.

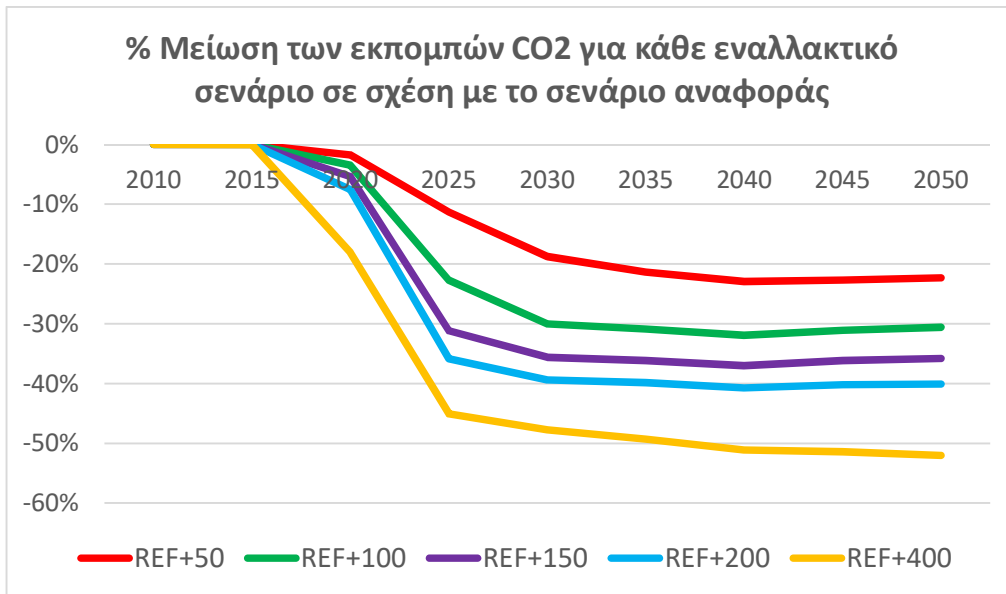
εκτίμηση των επιπτώσεων του Οδικού Χάρτη Ενέργειας της ΕΕ για το 2050 (Decker, Vasakova, and others 2011), η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 μπορεί να επιτευχθεί με ένα συνδυασμό επιλογών:

1. βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους του τομείς ζήτησης,
2. μαζική διείσδυση των ΑΠΕ, αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας και των τεχνολογιών CCS για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
3. διείσδυση των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών, υποκαθιστώντας ορυκτά καύσιμα όπως άνθρακα και πετρέλαιο
4. εκτεταμένη ηλεκτροδότηση της ζήτησης ενέργειας και κυρίως των μεταφορών με διείσδυση των ημι-ηλεκτρικών (plug-in hybrid) και αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων (pure electric).

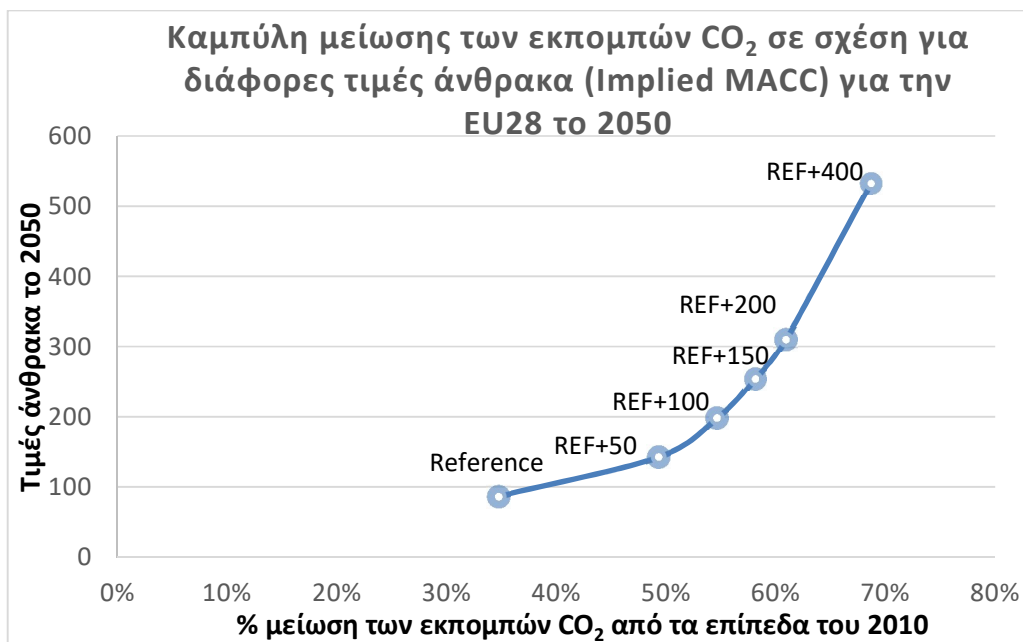
Αυτές οι επιλογές απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα αναπαρίστανται στις επεκτάσεις της παρούσας διατριβής. Η επιβολή πρόσθετης τιμολόγησης στην τιμή του άνθρακα (από το σενάριο αναφοράς), οδηγεί σε αύξηση του κόστους των ορυκτών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών και κατά συνέπεια στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που οδηγεί σε επιτάχυνση της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Στο Σχήμα 8-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου που αφορούν την μείωση των εκπομπών για κάθε εναλλακτικό σενάριο για την EU28 ως % μεταβολή από το σενάριο αναφοράς. Η ισχυρότερη τιμολόγηση άνθρακα έδωσε και την μεγαλύτερη μείωση στις εκπομπές CO₂.

Το Σχήμα 8-2 δείχνει τη μείωση των εκπομπών CO₂ το 2050 από τα επίπεδα του 2010 σε κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια. Η καμπύλη που σχηματίζεται είναι κυρτή που σημαίνει ότι κάθε επιπλέον μείωση των εκπομπών απαιτεί ολοένα και μεγαλύτερη σχετική αύξηση της τιμής του άνθρακα.



Σχήμα 8-1: Μείωση των εκπομπών CO₂ για κάθε σενάριο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς



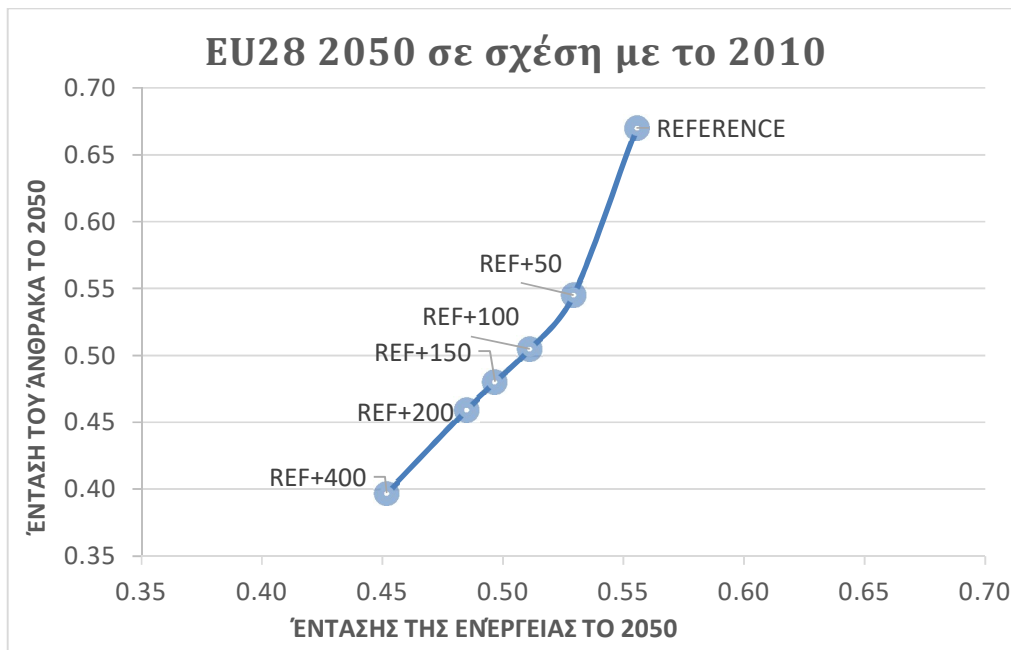
Σχήμα 8-2: Καμπύλη μείωσης των εκπομπών CO₂ σε σχέση με τις τιμές του άνθρακα (Implied MACC⁶⁰)

⁶⁰ MACC (Marginal Abatement Cost Curve)

8.3.1.2. Δομή του ενεργειακού συστήματος

Η οικονομική ανάπτυξη ασκεί ανοδικές πιέσεις στην κατανάλωση ενέργειας και προκαλεί αντίστοιχη αύξηση στις εκπομπές του CO₂, καθώς το ΑΕΠ αναμένεται να αυξηθεί κατά 75% το 2050 από τα επίπεδα του 2010. Η ταυτότητα Kaya (Kaya and others 1990) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση της συνεισφοράς των διαφορετικών δυνάμεων στις μεταβολές των εκπομπών CO₂ μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς.

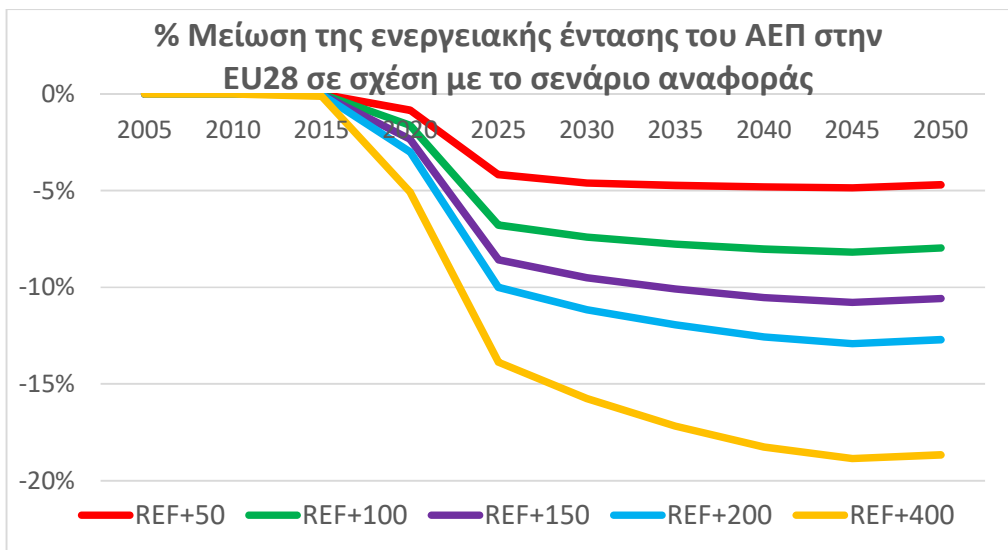
Το Σχήμα 8-3 απεικονίζει την ένταση του άνθρακα στην ενέργεια το 2050 (ως κλάσμα της έντασης του άνθρακα του 2010) ενάντια στην ενεργειακή ένταση του ΑΕΠ το 2050 (ως κλάσμα της έντασης ενέργειας του 2010) για όλα τα εναλλακτικά σεναρία. Και οι δύο δείκτες μειώνονται όσο η τιμή άνθρακα αυξάνεται με την ένταση του άνθρακα να μειώνεται περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της μείωσης των εκπομπών μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της χρήσης του άνθρακα, παρά στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 8-3: Ένταση του άνθρακα το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 2010 (ο άξονας του y) έναντι της έντασης της ενέργειας το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 2010 (ο άξονας του x).

Η πρόσθετη τιμολόγηση του άνθρακα οδηγεί σε αυξήσεις των τιμών της ενέργειας με άμεση συνέπεια στη μείωση της ενέργειας που ζητείται από τους τελικούς καταναλωτές. Οι βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης προβλέπονται να είναι ακόμη υψηλότερες στη σειρά των διαγνωστικών σεναρίων (Σχήμα 8-4) ως

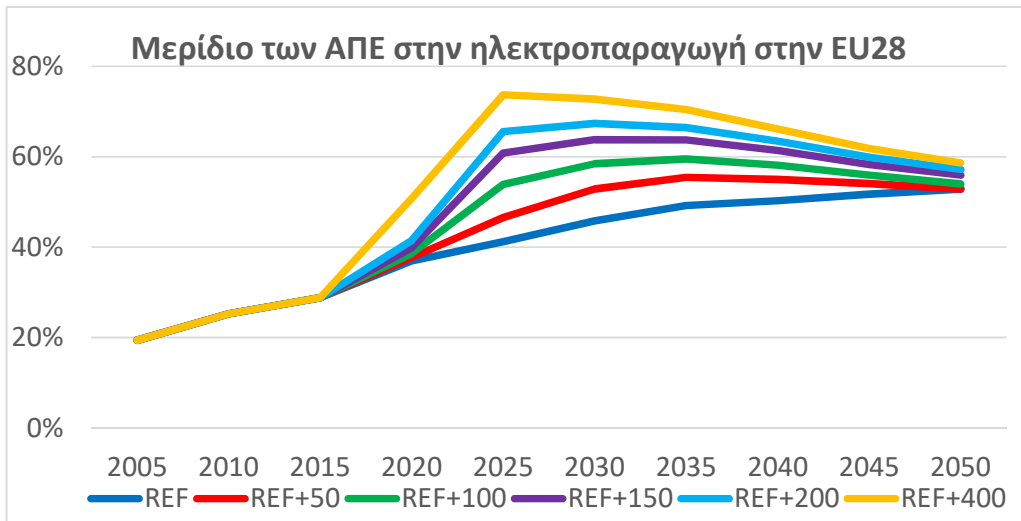
αποτέλεσμα των πρόσθετων τιμών του άνθρακα. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τα παραπάνω, το μεγαλύτερο μέρος των μειώσεων των εκπομπών προέρχεται από την μείωση της έντασης του άνθρακα στην ενέργεια και, ως εκ τούτου η μείωση της ζήτησης ενέργειας ανά μονάδα ΑΕΠ προβλέπεται να είναι χαμηλότερη από το 20% ακόμη και στο REF + 400 διαγνωστικό σενάριο.



Σχήμα 8-4: Μείωση της ενεργειακής έντασης του ΑΕΠ στην EU28 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

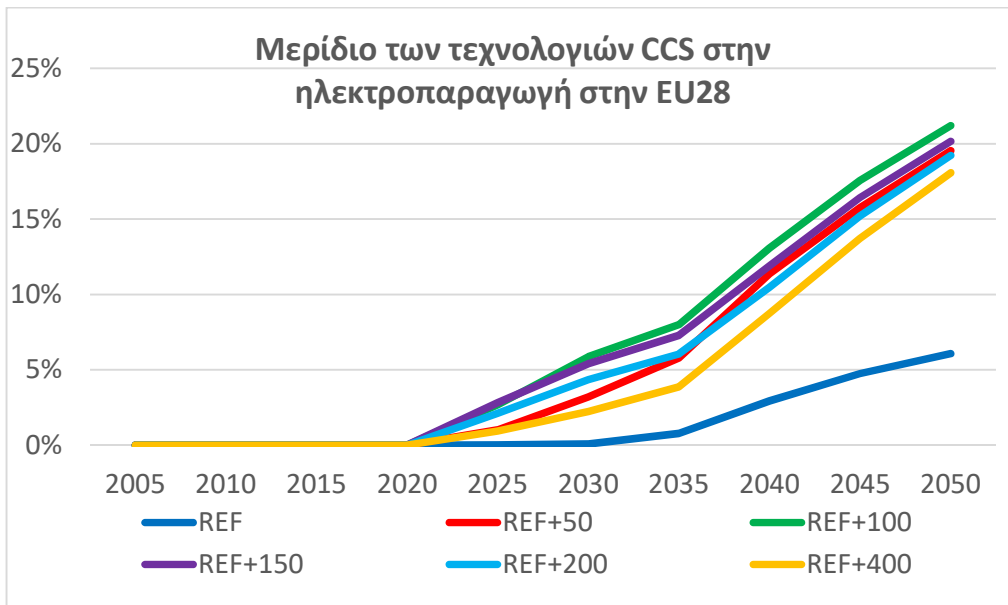
Η επιβολή υψηλού φόρου άνθρακα (carbon tax) επιπρόσθετα οδηγεί σε αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος μακριά από ορυκτά καύσιμα και προς τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, ιδίως στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής⁶¹ (Σχήμα 8-5). Οι τεχνολογίες των ΑΠΕ θα διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρισμού χωρίς εκπομπές CO₂. Μια κρίσιμη παράμετρος για την άμεση ανάπτυξη ΑΠΕ είναι το χρονικό διάστημα εγκατάστασής τους. Από την άλλη πλευρά, η πυρηνική ενέργεια δεν προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά πάνω από τα επίπεδα αναφοράς από το 2030 λόγω της μακράς περιόδου κατασκευής τους (συνήθως περισσότερο από 8-10 χρόνια).

⁶¹ Για τον προσδιορισμό των μεριδίων των τεχνολογιών στην ζήτηση της ηλεκτροπαραγωγής στα εναλλακτικά σενάρια τιμολόγησης του άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου PROMETHEUS (Fragkos, Kouvaritakis, and Capros 2015).



Σχήμα 8-5: Μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή στην EU28

Κατά την περίοδο 2030 και μετά, οι τεχνολογίες CCS αναμένονται να διεισδύσουν στην ηλεκτροπαραγωγή στην περιοχή EU28 (Σχήμα 8-6).

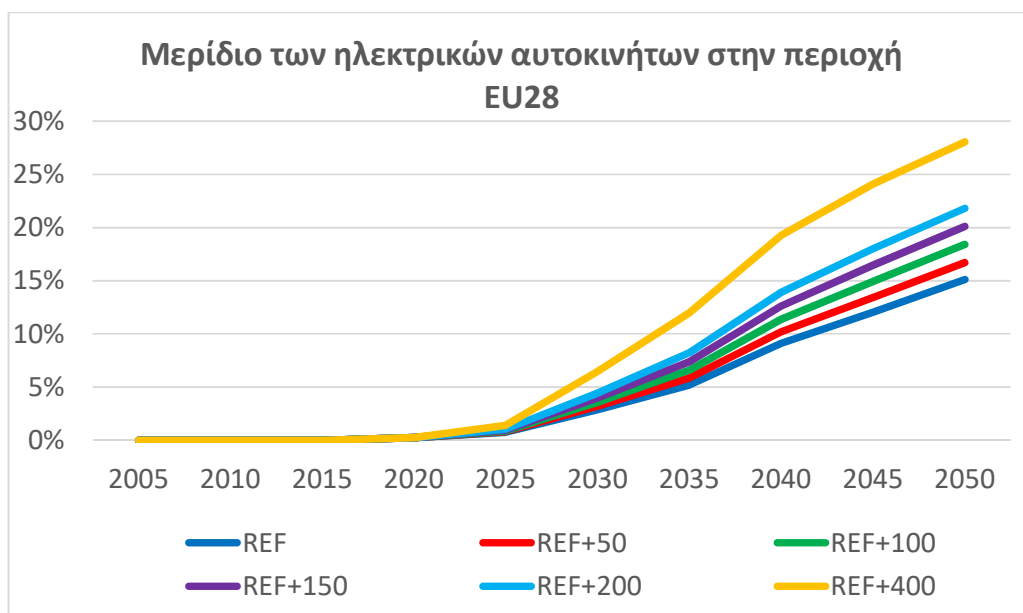


Σχήμα 8-6: Μερίδιο των τεχνολογιών CCS στην ηλεκτροπαραγωγή στην EU28

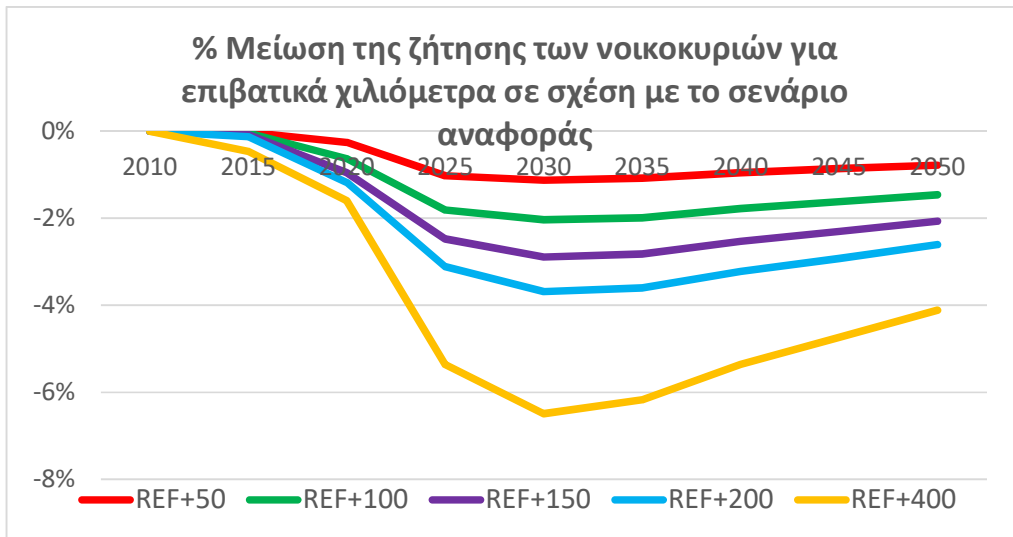
Η απεξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα συνεπάγεται επίσης αυξημένη διείσδυση των ηλεκτρικών και ημι-ηλεκτρικών (plug-in hybrid) αυτοκινήτων. Το Σχήμα 8-7 δείχνει την εξέλιξη του μεριδίου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων για κάθε

εναλλακτικό σενάριο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του άνθρακα τόσο μεγαλύτερη είναι και η διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτό συμβαίνει λόγω των οικονομικών τεχνικών κριτηρίων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αφού το όφελος από το χαμηλό κόστος χρήσης τους, ισοφαρίζει το αυξημένο κόστος αγοράς. Ωστόσο, μια απλή εφαρμογή φόρου του άνθρακα δεν είναι αρκετή να οδηγήσει σε ριζικό μετασχηματισμό του στόλου των αυτοκινήτων με εκτεταμένη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, εξαιτίας του κρυφού κόστους που αντιμετωπίζουν (όπως αναφέρεται στην παράγραφο 5.1.1), για παράδειγμα το πρόβλημα της αυτονομίας. Οπότε, η πολιτική θα πρέπει να συνοδεύεται από επενδύσεις σε υποδομές που θα αφορούν περισσότερους σταθμούς φόρτισης, με επενδύσεις σε Έρευνα και Ανάπτυξη με σκοπό την μείωση του κόστους της μπαταρίας όπως επίσης και την μείωση του χρόνου φόρτισης. Όλα αυτά θα συμβάλουν στην επιτάχυνση της διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Η συνολική ζήτηση των νοικοκυριών για επιβατικά χιλιόμετρα αναμένεται να μειωθεί όσο οι τιμές άνθρακα ανεβαίνουν (Σχήμα 8-8), με μέγιστη μείωση στο σενάριο με την υψηλότερη τιμή άνθρακα της τάξη 7% το 2030 και 4.2% το 2050 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η μείωση μετριάζεται εξαιτίας της διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και της μείωσης του κόστους του μέσω των μηχανισμών εκμάθησης που περιλαμβάνονται στο μοντέλο (μέσα από την πράξη και την έρευνα).

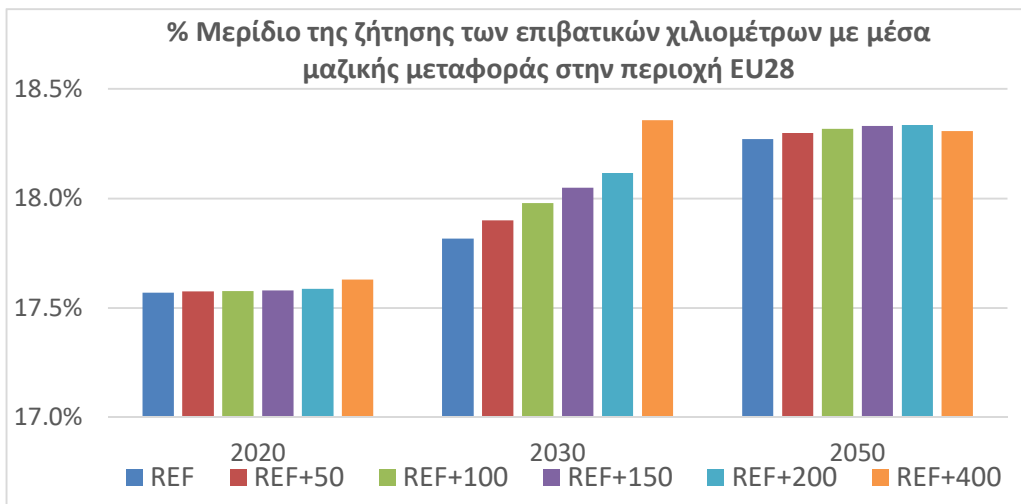


Σχήμα 8-7: Μερίδιο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην περιοχή EU28



Σχήμα 8-8: Μείωση της ζήτησης των νοικοκυριών για επιβατικά χιλιόμετρα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι ότι αναπαριστά ενδογενώς τόσο τις ιδιωτικές όσο και τις δημόσιες μεταφορές επιβατών. Τα νοικοκυριά αποφασίζουν εάν θα πραγματοποιήσουν τις μετακινήσεις τους με δικό τους όχημα ή με κάποιο μέσο μαζικής μεταφοράς. Έτσι, η αύξηση του κόστους των επιβατικών αυτοκινήτων, εξαιτίας της αύξησης της τιμής του άνθρακα, οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης για μεταφορά με μέσα μαζικής μεταφοράς (Σχήμα 8-9).

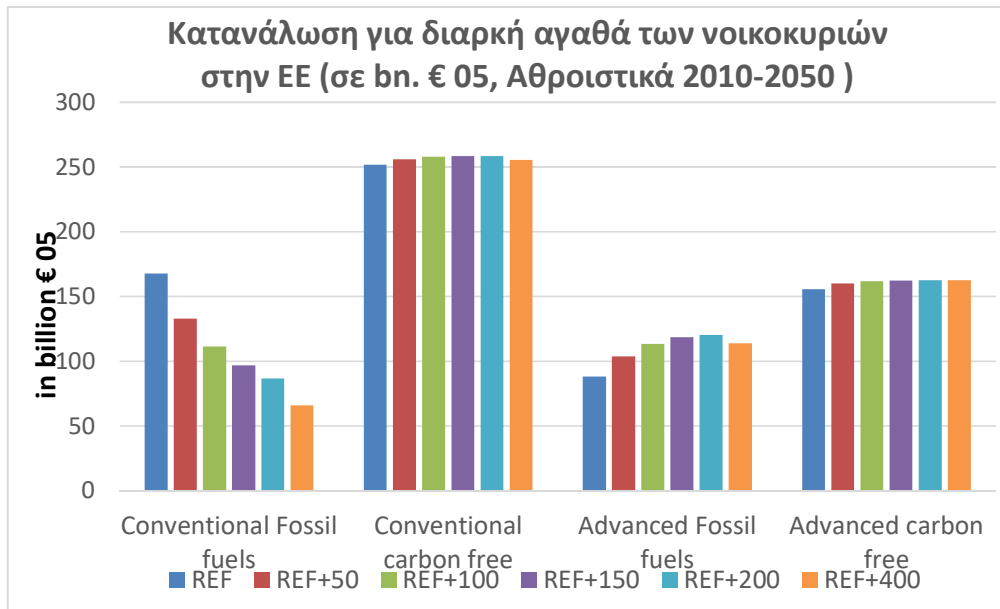


Σχήμα 8-9: Μερίδιο της ζήτησης των επιβατικών χιλιομέτρων με μέσα μαζικής μεταφοράς στην περιοχή EU28

Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του μοντέλου GEME3-RD είναι η αναλυτική αναπαράσταση της ζήτησης ενέργειας στα νοικοκυριά, η οποία χωρίζεται σε δύο διακριτές κατηγορίες κατανάλωσης:

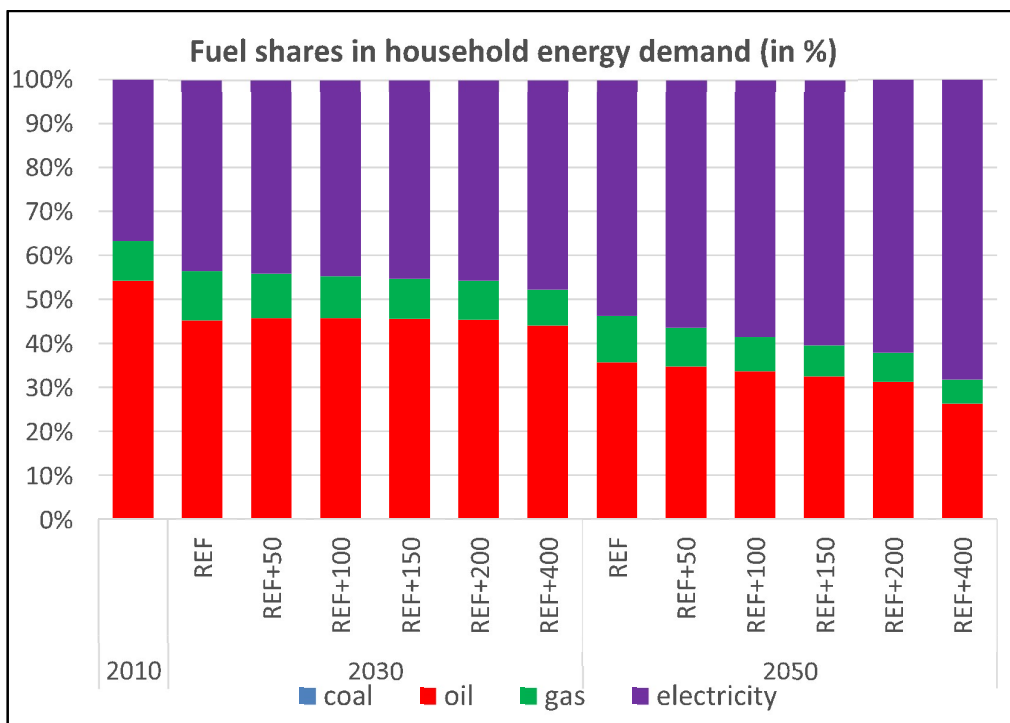
- Θέρμανση και ψύξη
- Ηλεκτρικές συσκευές

Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής αποφασίζει ενδογενώς το είδος της συσκευής (προηγμένη ή συμβατική, με μηδενικές εκπομπές ή με καύσιμα) που θα χρησιμοποιήσει για να του παρέχει την υπηρεσία. Οι προηγμένες έχουν μεγαλύτερο κόστος επένδυσης από τις συμβατικές, αλλά απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Η επιβολή πρόσθετης τιμολόγησης του άνθρακα οδηγεί σε αλλαγές στην κατανομή του διαθέσιμου εισοδήματος των νοικοκυριών μακριά από συσκευές υψηλής ενεργειακής έντασης. Οι αυξήσεις των τιμών, τόσο του κόστους χρήσης των συσκευών όσο και του κόστους αγοράς των διαρκών αγαθών οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και υψηλότερη ζήτηση των προηγμένων ενεργειακά αποδοτικών συσκευών. Το Σχήμα 8-10 δείχνει ότι η επιβολή πρόσθετης τιμολόγησης του άνθρακα οδηγεί σε σημαντική μείωση της ζήτησης για τις συμβατικές συσκευές θέρμανσης με χρήση ορυκτών καυσίμων, αύξηση τόσο των συμβατικών όσο και των προηγμένων συσκευών που χρησιμοποιούν εναλλακτικές μορφές ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα και ΑΠΕ), καθώς επίσης και αύξηση της ζήτησης των προηγμένων ενεργειακών συσκευών που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Η συνολική ζήτηση για διαρκή αγαθά αναμένεται να μειωθεί στη σειρά διαγνωστικών σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ως αποτέλεσμα του υψηλότερου κόστους ενέργειας. Η μεγαλύτερη μείωση αναμένεται στο σενάριο **REF+400** (10%, αθροιστικά, κατά την περίοδο 2010-2050), ενώ του σεναρίου **REF+200** (5,4%).



Σχήμα 8-10: Κατανάλωση για διαρκή αγαθά της κατηγορίας θέρμανση/ψύξη των νοικοκυριών στην ΕΕ (σε bn. € 05)

Το Σχήμα 8-11 απεικονίζει τα μερίδια κάθε μορφής ενέργειας στην ζήτηση ενέργειας των νοικοκυριών (τα μερίδια έχουν υπολογιστεί σε νομισματικές μονάδες). Το μερίδιο του πετρελαίου αναμένεται να μειωθεί, ακόμα και στο σενάριο αναφοράς, από 54% το 2010 σε 36% το 2050, ενώ το φυσικό αέριο και κυρίως η ηλεκτρική ενέργεια προβλέπεται να αυξηθούν τα μερίδιά τους μέχρι το 2050. Η επιβολή ισχυρότερης τιμολόγησης του άνθρακα οδηγεί σε μια μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων που αντικαθίστανται από την ηλεκτρική ενέργεια, της οποίας το μερίδιο φτάνει το 68% το 2050 στο σενάριο **REF + 400** δεδομένου ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει απανθρακοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό.



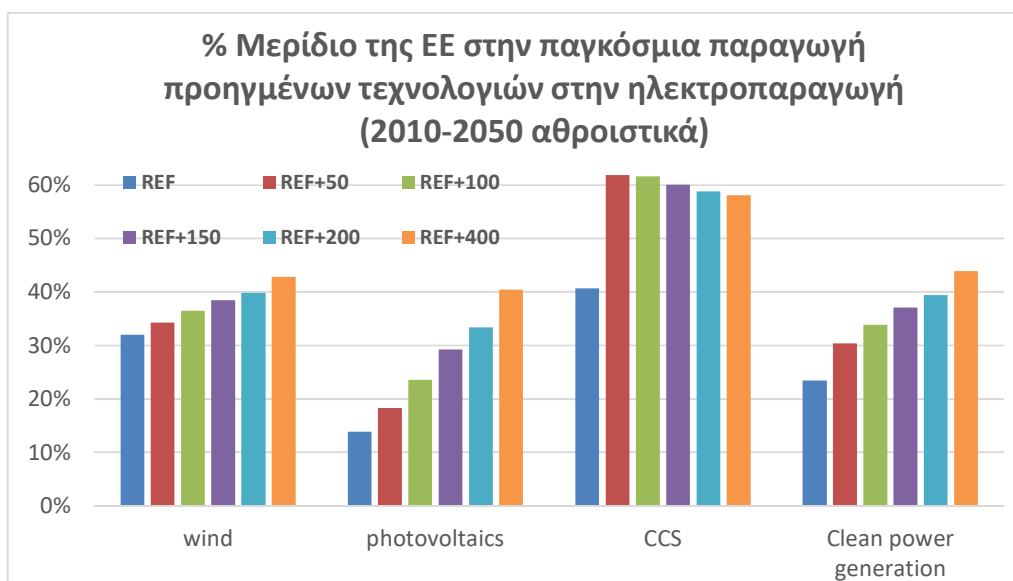
Σχήμα 8-11: Μερίδιο ανά κατηγορία ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών στην ΕΕ

8.3.1.3. Παραγωγή των τεχνολογιών χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Η ζήτηση τεχνολογιών χαμηλών έως και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αναμένεται να αυξηθεί όσο ο φόρος του άνθρακα αυξάνεται. Καθώς η εγχώρια ευρωπαϊκή βιομηχανία ικανοποιεί το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης αυτής, η παραγωγή αυτών των τεχνολογιών αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Η ταχεία εκμάθηση μέσω της πράξης (λόγω μεγαλύτερου όγκου παραγωγής και οικονομιών κλίμακας) καθώς και η αύξηση των δαπανών σε Ε&Α σε αυτές τις τεχνολογίες οδηγεί την ΕΕ σε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για την παραγωγή τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, κάτι που μπορεί να μεταφραστεί σε αύξηση των εξαγωγών προς τον υπόλοιπο κόσμο.

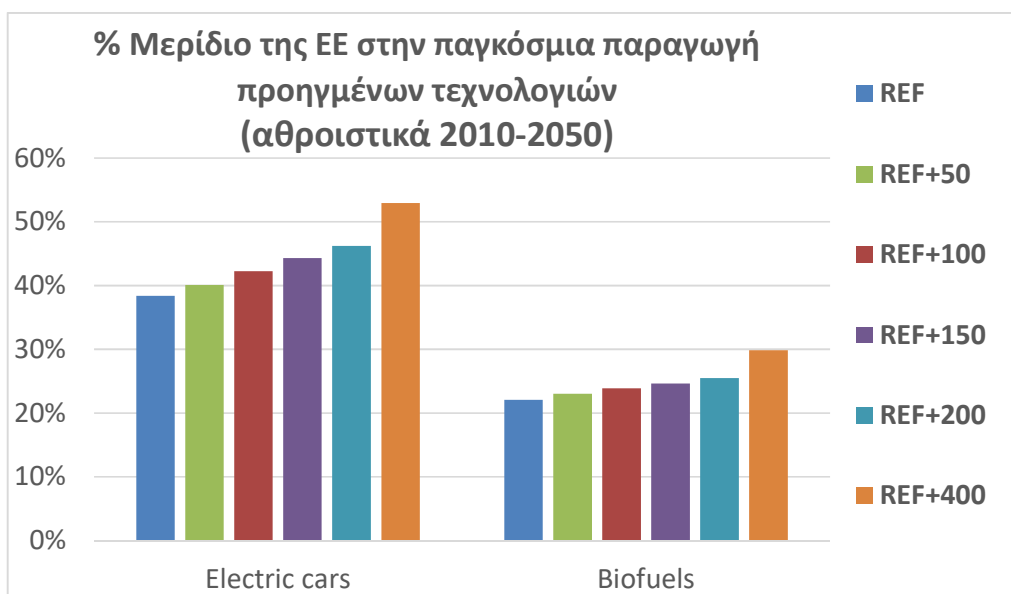
Οι τεχνολογίες ΑΠΕ ή CCS αποτελούν ένα ουσιαστικό συστατικό της απεξάρτησης του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα σε περίπτωση ισχυρής τιμολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ακόμη και πριν το 2030 το μερίδιο των χαμηλών και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα τεχνολογιών στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ προβλέπεται ότι θα υπερβεί το 80% στη σειρά διαγνωστικών προσομοιώσεων. Η αυξημένη ζήτηση στην ΕΕ, σε

συνδυασμό με το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα των ευρωπαϊκών εξαγωγών στις διεθνείς αγορές προβλέπεται να οδηγήσει σε υψηλότερα μερίδια για την ΕΕ στην παγκόσμια αγορά των τεχνολογιών παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας (σε σχέση με το σενάριο αναφοράς) κατά την περίοδο 2010-2050 αθροιστικά (Σχήμα 8-12). Η παραγωγή της ΕΕ αναμένεται να αντιπροσωπεύει το 23% της παγκόσμιας καθαρής ενεργειακής αγοράς στο 2010-2050 στο σενάριο αναφοράς. Το ευρωπαϊκό μερίδιο στην παγκόσμια παραγωγή αυξάνει με την αυστηρότητα της τιμολόγησης του άνθρακα και έτσι θα φτάσει το 34% στο σενάριο **REF+100** και 44% στο **REF+400**.



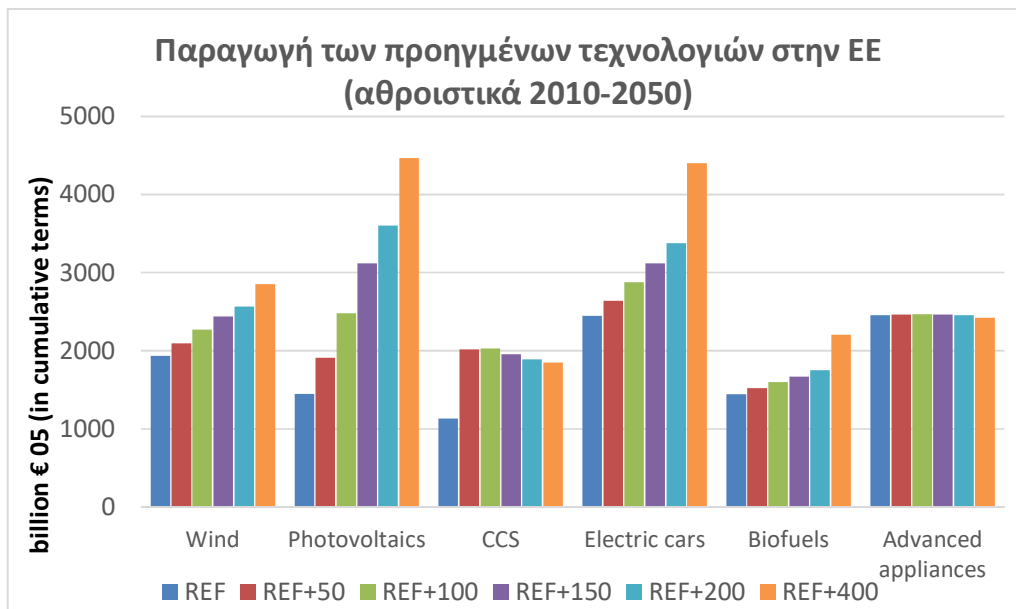
Σχήμα 8-12: Μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή προηγμένων τεχνολογιών στην ηλεκτροπαραγωγή

Το Σχήμα 8-13 απεικονίζει το μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και βιοκαυσίμων. Μεταξύ αυτών των κατηγοριών, η πιο σημαντική αύξηση της ΕΕ προβλέπεται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπου το μερίδιο της ΕΕ προβλέπεται να αυξηθεί από το 38% στο σενάριο αναφοράς στο 46% στο σενάριο **REF+200** και 53% στο **REF+400** κατά την περίοδο 2010-2050 αθροιστικά (Σχήμα 8-13). Η αύξηση της φορολογίας άνθρακα (carbon tax) συνεπάγεται επίσης την αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων. Το μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή αναμένεται να αυξηθεί από 22% στο σενάριο αναφοράς σε 30% στο σενάριο **REF+400**.



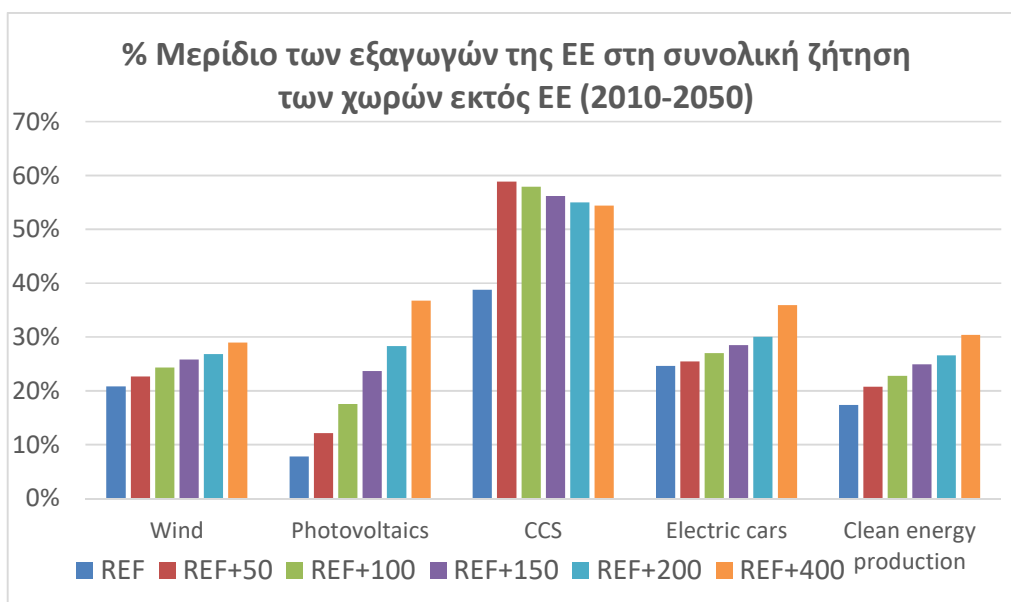
Σχήμα 8-13: Μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή προηγμένων τεχνολογιών

Στο σενάριο αναφοράς, η αθροιστική παραγωγή της ΕΕ των προηγμένων τεχνολογιών είναι περίπου 10.9 τρισεκατομμύρια €2005. Ενώ, στα διαγνωστικά σενάρια με διαφορετικές τιμές άνθρακα αναμένεται να αυξηθεί στα 13.7 τρισεκατομμύρια €2005 στο **REF+100** και στα 18.2 τρισεκατομμύρια €2005 στο **REF+400** (Σχήμα 8-14). Η αγορά εντός της ΕΕ είναι αρκετά μεγάλη και ενιαία, με αποτέλεσμα να μπορεί να εκμεταλλευτεί τη μείωση του κόστους παραγωγής των ΑΠΕ και άλλων τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών. Ως αποτέλεσμα της μείωσης του κόστους, η Ευρώπη αποκτά ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην παγκόσμια αγορά για τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας και, επομένως, τις εξαγωγές της εκτός της ΕΕ, που αυξάνονται σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς.



Σχήμα 8-14: Αθροιστικά η παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών στην ΕΕ την περίοδο 2010-2050 (σε bn € 05)

Το Σχήμα 8-15 δείχνει ότι το μερίδιο των εξαγωγών της ΕΕ στην συνολική ζήτηση εκτός ΕΕ προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά από 17% το 2010 στο σενάριο αναφοράς (**REF**) σε περισσότερο από το 30% στο σενάριο **REF+400**, αθροιστικά, κατά την περίοδο 2010-2050 αποδεικνύοντας το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που κερδίζει η ΕΕ σε αυτούς τους οικονομικούς τομείς εξαιτίας της επιτάχυνσης της τεχνολογικής προόδου μέσω των μηχανισμών εκμάθησης και των επενδύσεων σε R&D που εισήχθησαν στο μοντέλο. Οι εξαγωγές των φωτοβολταϊκών αναμένεται να αυξηθούν από 8% στο σενάριο αναφοράς (**REF**) σε 37% στο σενάριο **REF + 400**. Στη σειρά των διαγνωστικών σεναρίων, οι ευρωπαϊκές εξαγωγές αναμένεται να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας ζήτησης, κάτι που συνεπάγεται ότι η Ευρώπη θα καταστεί η κυρίαρχη παραγωγός σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ΕΕ κερδίζει επίσης ένα σημαντικό μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς αυξάνεται ο φόρος του άνθρακα στα σεναρία. Οι δευτερογενείς επιδράσεις λαμβάνουν κυρίως χώρα κατά την τελευταία δεκαετία της περιόδου 2015-2050 και ως εκ τούτου η αύξηση των ευρωπαϊκών εξαγωγών των προηγμένων τεχνολογιών αναμένεται να δείξει σαφή σημάδια κορεσμού/επιβράδυνσης σε αυτή την σειρά των διαγνωστικών σεναρίων.



Σχήμα 8-15: Μερίδιο των εξαγωγών της ΕΕ στη συνολική ζήτηση των χωρών εκτός ΕΕ αθροιστικά την περίοδο 2010-2050.

8.3.1.4. Μακροοικονομικές επιπτώσεις

Η επιβολή φόρου του άνθρακα (carbon tax) επηρεάζει τις τεχνολογικές επιλογές και τη συμπεριφορά της ζήτησης από τους οικονομικούς παράγοντες, δεδομένου ότι περιορίζει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων τόσο στη φάση της παραγωγής όσο και στην τελική κατανάλωση, ενώ το σύνολο της οικονομίας είναι αναγκασμένο να υποκαταστήσει τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα με τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών. Οι αντικαταστάσεις συνεπάγονται υψηλότερη ζήτηση για τα υλικά/εξοπλισμό και μειωμένη ζήτηση για ορυκτά καύσιμα για την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών προς τους τελικούς καταναλωτές ενέργειας. Οι υψηλότερες τιμές του άνθρακα οδηγούν σε αύξηση του κόστους παραγωγής στους περισσότερους βιομηχανικούς κλάδους, κυρίως σε αυτούς που είναι εντάσεως ενέργειας.

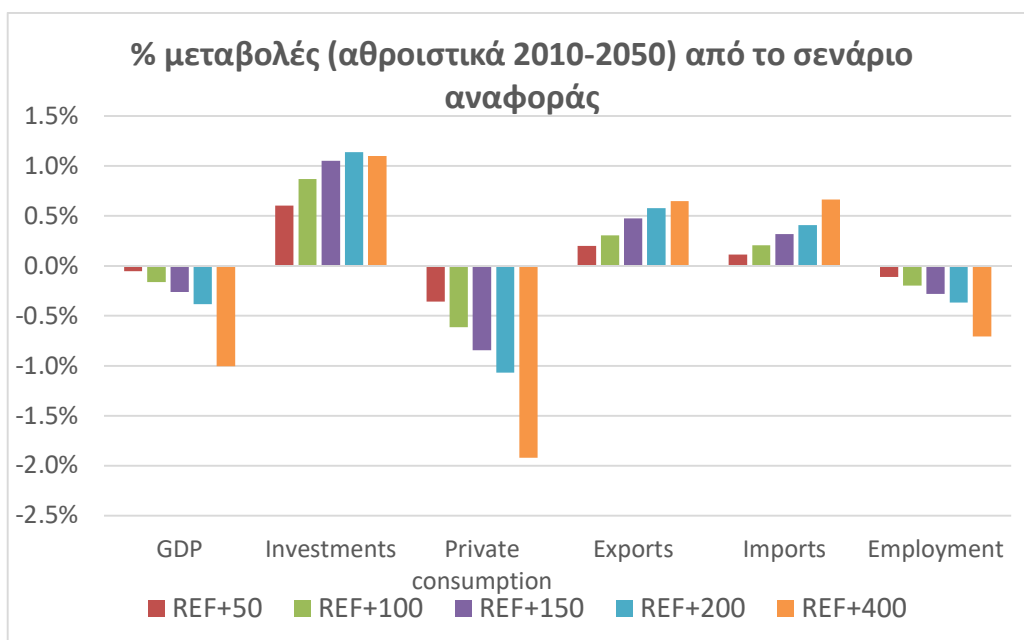
Ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος είναι δαπανηρός με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής των ενεργειακών υπηρεσιών σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Το αυξημένο κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών προκαλεί μείωση της αγοραστικής δύναμης των νοικοκυριών και επομένως οδηγεί σε μείωση της ζήτησης. Οι υψηλότερες τιμές των αγαθών και υπηρεσιών μειώνουν περαιτέρω τη ζήτηση. Το συνολικό αποτέλεσμα στο ΑΕΠ καθορίζεται από το επίπεδο των τιμών του άνθρακα, τη δομή της οικονομίας, την ένταση ενέργειας και άνθρακα που

εξαρτάται από την ευκολία υποκατάστασης των τεχνολογιών χαμηλής έντασης με ορυκτά καύσιμα.

Το καθαρό αποτέλεσμα στο ΑΕΠ για την ΕΕ είναι αρνητικό σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς, λόγω των υψηλών δαπανών στην ζήτηση (Σχήμα 8-16), το οποίο αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Riahi et al. 2013), (Kriegler et al. 2015) και (Pantelis Capros et al. 2014b). Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες του ΑΕΠ αυξάνονται όσο αυξάνεται το επίπεδο των τιμών του άνθρακα και φθάνουν στο 1% του ΑΕΠ σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (στο πιο φιλόδοξο σενάριο), αθροιστικά, κατά την περίοδο 2020-2050, ενώ η μείωση του ΑΕΠ στα υπόλοιπα διαγνωστικά σενάρια αναμένεται να είναι μικρότερη από 0,5%. Παρά το γεγονός ότι η ΕΕ βασίζεται στην εγχώρια αγορά για το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας και αποδοτικού εξοπλισμού ενέργειας, η αντίστοιχη αύξηση της παραγωγής των εν λόγω τεχνολογιών (Σχήμα 8-14) δεν είναι αρκετά υψηλή για να αντισταθμίσει τη μείωση δραστηριότητας ως αποτέλεσμα του υψηλότερου κόστους στο σύνολο της οικονομίας.

Η αύξηση του κόστους της ενέργειας μετριάζεται με την υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικούς τρόπους ενέργειας (ηλεκτρισμό, βιοκαύσιμα, ανανεώσιμες). Αυτό οδηγεί σε αύξηση των επενδύσεων των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας όσο ο φόρος του άνθρακα αυξάνεται με εξαίρεση το σενάριο **REF+400** που είναι λίγο χαμηλότερο από το **REF+200** εξ' αιτίας της μεγάλης πτώσης της ζήτησης.

Η επίδραση των υψηλών τιμών του άνθρακα είναι υψηλότερη στην ιδιωτική κατανάλωση στην ΕΕ. Αυτό είναι αποτέλεσμα του υψηλότερου κόστους και των τιμών που οδηγούν σε μείωση της αγοραστικής δύναμης των καταναλωτών και την αντικατάσταση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων με εντάσεως κεφαλαίου τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. Η μείωση της ιδιωτικής κατανάλωσης αθροιστικά από τα επίπεδα του σεναρίου αναφοράς αναμένεται να φθάσει περίπου το 2% στο σενάριο **REF+400**.



Σχήμα 8-16: Μακροοικονομικές επιπτώσεις διαφορετικών τιμών άνθρακα την περίοδο 2010-2050 (αθροιστικά)

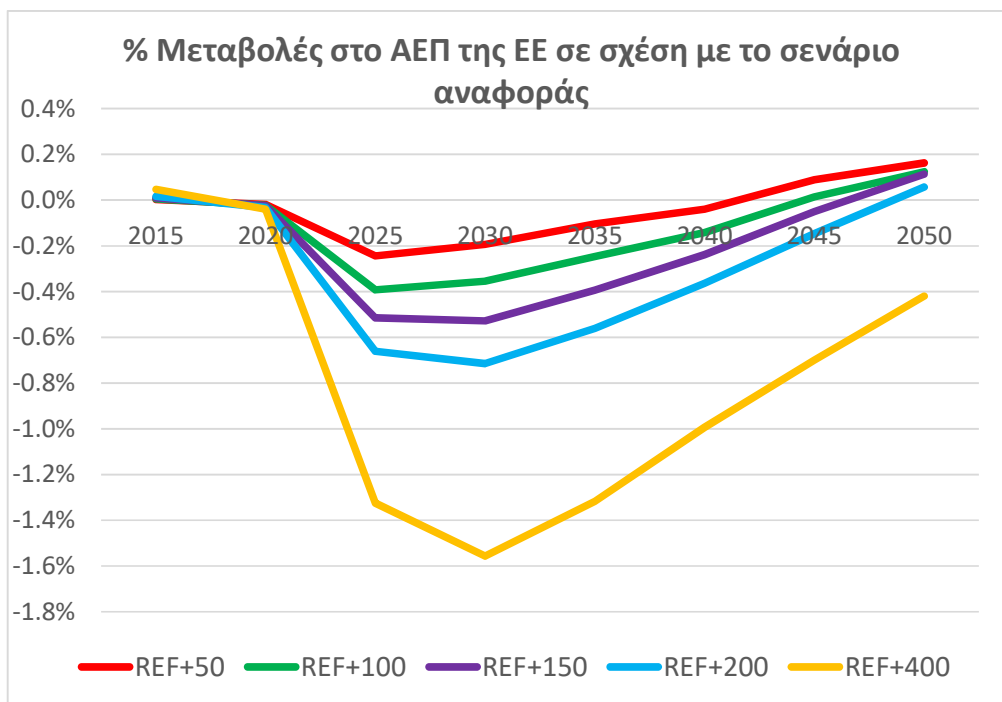
Η πρόσθετη επιβολή φόρου του άνθρακα (carbon tax) έχει αρνητική επίδραση στη δραστηριότητα των βιομηχανιών έντασης ενέργειας και, ως εκ τούτου για την απασχόληση αυτών των τομέων. Η ενέργεια και οι άλλοι συντελεστές παραγωγής θεωρούνται ως ατελή υποκατάστατα και κατά συνέπεια η αύξηση του κόστους της ενέργειας αυξάνει το κόστος παραγωγής ανά μονάδα, ιδίως των ενεργοβόρων βιομηχανιών. Από την άλλη πλευρά, η παραγωγή μετατοπίζεται προς τομείς παραγωγής καθαρής ενέργειας που χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγαλύτερης έντασης εργασίας σε σύγκριση με αυτή των τεχνολογιών που βασίζονται σε τεχνολογίες ορυκτών καύσιμων. Οι περιορισμένες δυνατότητες υποκατάστασης της ενέργειας με την εργασία (ή το κεφαλαίο) μετριάξει εν μέρει μόνο την επίδραση της μειωμένης ζήτησης της εγχώριας δραστηριότητας στις αγορές εργασίας, συνεπώς η απασχόληση στην οικονομία της ΕΕ αναμένεται να μειωθεί σε σχέση με το σενάριο αναφοράς κατά 0,7% στο σενάριο **REF+400** σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς, αθροιστικά, κατά την περίοδο 2020-2050.

Οι υψηλές τιμές άνθρακα οδηγούν επίσης σε μείωση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων στην ΕΕ στις παγκόσμιες αγορές, η οποία οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών από άλλα μέρη του κόσμου (στην οποία δεν επιβάλλεται πρόσθετη τιμολόγηση του άνθρακα).

Η πρόσθετη τιμολόγηση του άνθρακα οδηγεί σε υψηλότερη ανάπτυξη των τεχνολογιών χαμηλών και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ. Αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση των δαπανών για Ε & Α των τομέων που παράγουν τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας οδηγεί σε μείωση του κόστους του κεφαλαίου και ως εκ τούτου σε ευρωπαϊκό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις παγκόσμιες αγορές για τις τεχνολογίες αυτές. Σε απόλυτους αριθμούς, οι αθροιστικές ευρωπαϊκές εξαγωγές των καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών αναμένεται να ανέλθουν σε 5.1 τρισεκατομμύρια €05 στο σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2010-2050, ενώ στα σενάρια επιπρόσθετου φόρου άνθρακα προβλέπεται να αυξηθεί περαιτέρω (έως 6.7 τρισεκατομμύρια €05 στο **REF+100** και σε 9.1 τρισεκατομμύρια €05 στο **REF+400**) παρέχοντας, έτσι οφέλη για την ευρωπαϊκή οικονομία. Από την άλλη πλευρά, οι εξαγωγές των υπόλοιπων βιομηχανιών έχουν την τάση να μειώνονται λόγω των υψηλότερων εγχώριων τιμών στην ΕΕ-28, σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Το καθαρό αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αύξηση των εξαγωγών της ΕΕ και σε άλλα μέρη του κόσμου από 0.2-0.6% (αθροιστικά) στη σειρά των διαγνωστικών σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

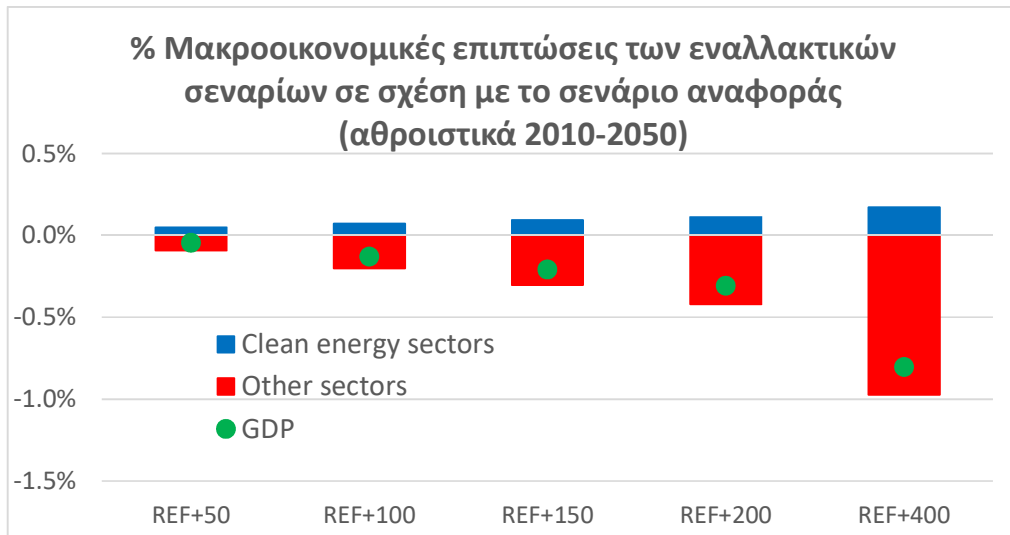
Το Σχήμα 8-17 δείχνει τις μεταβολές στο ΑΕΠ της ΕΕ στη σειρά διαγνωστικών σεναρίων σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2015-2050. Το Σχήμα 8-17 δείχνει ότι οι υψηλότερες απώλειες του ΑΕΠ προβλέπονται την περίοδο 2030-2035. Οι κύριοι λόγοι μετριασμού του κόστους μετά το 2035 είναι:

- Ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος σε καθαρότερες πηγές ενέργειας.
- Η τεχνολογική πρόοδος των τεχνολογιών χαμηλών και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μειώνει το κόστος κεφαλαίου και οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους της ενέργειας στην οικονομία της ΕΕ.
- Η αύξηση των εξαγωγών της ΕΕ των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, λόγω του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος εξαιτίας των μηχανισμών μάθησης.



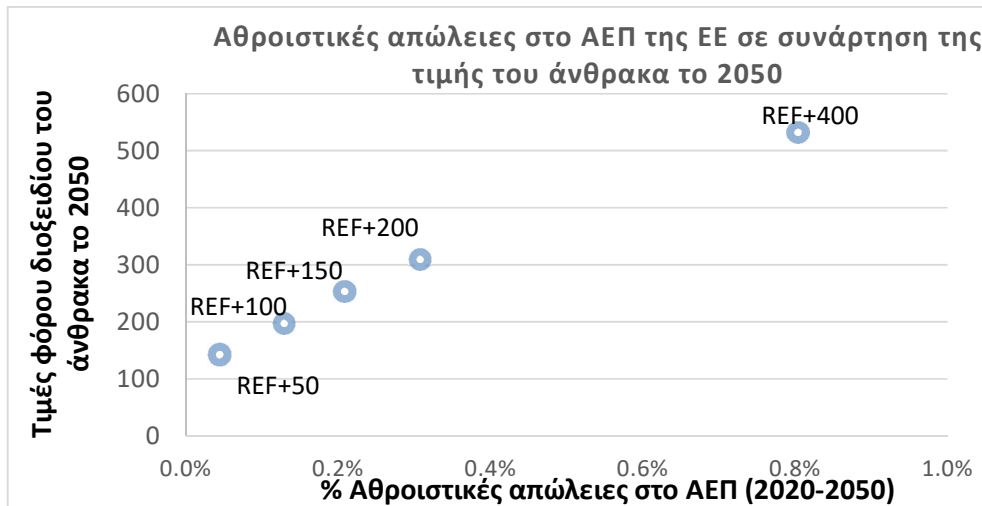
Σχήμα 8-17: Μεταβολές στο ΑΕΠ της ΕU28 για κάθε εναλλακτικό σενάριο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

Το Σχήμα 8-18 συνοψίζει τις μακροοικονομικές επιπτώσεις της σειράς διαγνωστικών σεναρίων με διαφορετικές τιμές άνθρακα για την ΕΕ αθροιστικά κατά την περίοδο 2010-2050. Η παραγωγή καθαρών τεχνολογιών ενέργειας αυξάνεται με την αύξηση των τιμών του άνθρακα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, η αύξηση της παραγωγής των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, CCS, ηλεκτρικά αυτοκίνητα κλπ.) μετριαάζει εν μέρει την αρνητική επίδραση της πρόσθετης τιμολόγησης του άνθρακα στους άλλους τομείς παραγωγής. Αθροιστικά, την περίοδο 2010-2050, το σενάριο **REF+400**, η παραγωγή των άλλων τομέων της παραγωγής αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση του ΑΕΠ κατά 1%, ενώ η αύξηση της παραγωγής καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών να μετριασθεί το 20% αυτής της απώλειας. Έτσι, η αθροιστική μείωση του ΑΕΠ προβλέπεται να είναι 0,8% κατά τη διάρκεια 2010-2050.



Σχήμα 8-18: Μακροοικονομικές επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (αθροιστικά 2010-2050)

Το Σχήμα 8-19 απεικονίζει τις απώλειες του ΑΕΠ στην ΕΕ αθροιστικά κατά την περίοδο 2020-2050 για κάθε σενάριο. Η επιβολή πρόσθετου φόρου του άνθρακα (carbon tax) οδηγεί σε μείωση του ΑΕΠ της ΕΕ. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ότι αθροιστικές απώλειες του ΑΕΠ είναι σε γενικές γραμμές ανάλογες με το φόρο διοξειδίου του άνθρακα που επιβάλλεται.



Σχήμα 8-19: Απώλειες του ΑΕΠ της ΕΕ (οριζόντιος άξονας) για κάθε διαφορετική τιμή άνθρακα (κάθετος άξονας)

8.3.2. Διαφορετικά learning rates (2^η ομάδα)

Η δεύτερη ομάδα σεναρίων αφορά στην ανάλυση ευαισθησίας στους ρυθμούς μάθησης του μοντέλου. Οι ρυθμοί μάθησης που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο βασίστηκαν στην βιβλιογραφία. Μια σημαντική δυσκολία σχετίζεται με το γεγονός, ότι οι περισσότερες οικονομετρικές μελέτες χρησιμοποιούν παλιά ιστορικά δείγματα, όταν οι τεχνολογίες είναι σε πρώιμο στάδιο, με αποτέλεσμα η ανάλυσή τους να οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς μάθησης σε σύγκριση με πιο πρόσφατες μελέτες (Kobos, Erickson, and Drennen 2006). Προκειμένου να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του μοντέλου GEME3-RD όσον αναφορά τις υποθέσεις των ρυθμών μάθησης, εκτελέστηκαν μια σειρά διαγνωστικών σεναρίων με διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης για τις νέες τεχνολογίες (Φωτοβολταϊκά, Ανεμογεννήτριες, CCS, Ηλεκτρικά αυτοκίνητα):

- Σενάριο αναφοράς το οποίο χρησιμοποιεί τους ρυθμούς μάθησης (*LR*) που χρησιμοποιήθηκαν που παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.
- Ένα διαγνωστικό σενάριο με ρυθμούς μάθησης πολλαπλασιασμένους με 1.2 (*LRx1.2*)
- Ένα διαγνωστικό σενάριο με ρυθμούς μάθησης πολλαπλασιασμένους με 1.5 (*LRx1.5*)
- Ένα διαγνωστικό σενάριο με ρυθμούς μάθησης διαιρεμένους με 1.2 (*LR/1.2*)
- Ένα διαγνωστικό σενάριο με ρυθμούς μάθησης διαιρεμένους με 1.5 (*LR/1.5*)

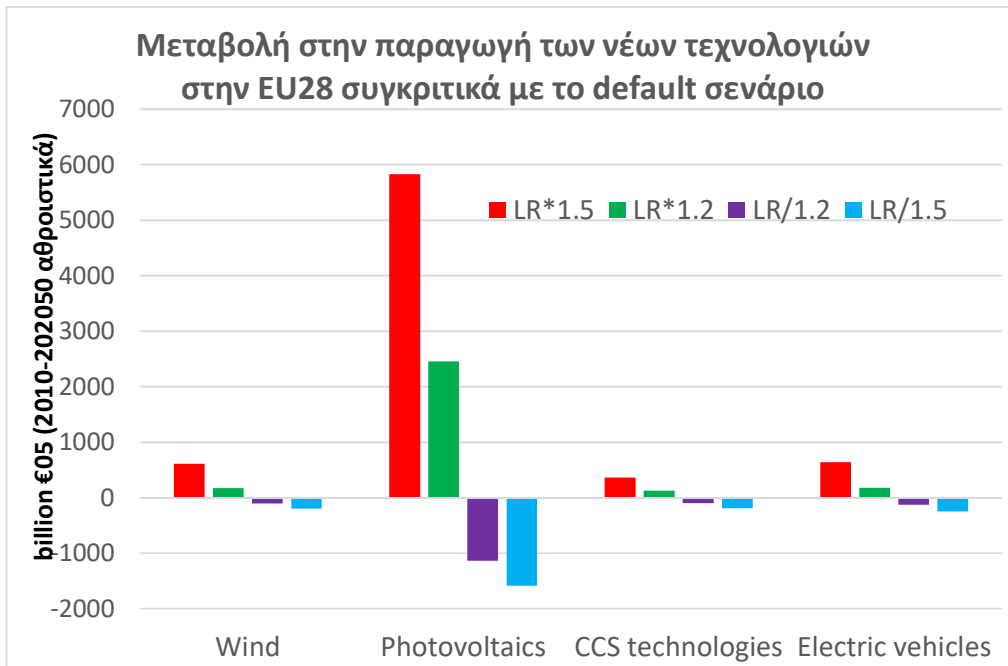
Πίνακας 8-7: Ρυθμοί μάθησης στο σενάριο αναφοράς

Clean energy producing sectors	Μάθηση μέσα από την πράξη	Μάθηση μέσα από την E&A
Ανεμογεννήτριες	0.07	0.105
Φωτοβολταϊκά	0.17	0.12
Εξοπλισμός CCS	0.07	0.07
Ηλεκτρικά αυτοκίνητα	0.08	0.15

Οι διαφοροποιημένοι ρυθμοί μάθησης εφαρμόστηκαν ομοιόμορφα σε όλες τις περιοχές του μοντέλου. Οι διαφορετικοί ρυθμοί μάθησης, εφαρμόστηκαν επίσης και στο σενάριο επιβολής πρόσθετης τιμής άνθρακα **REF+200** που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ομάδα σεναρίων. Προκειμένου να εξασφαλισθεί η συγκρισιμότητα των σεναρίων, η συνολική παραγωγικότητα των νέων τεχνολογιών στο σενάριο αναφοράς είναι ίδια.

8.3.2.1. Επιδράσεις στην παραγωγή των νέων τεχνολογιών

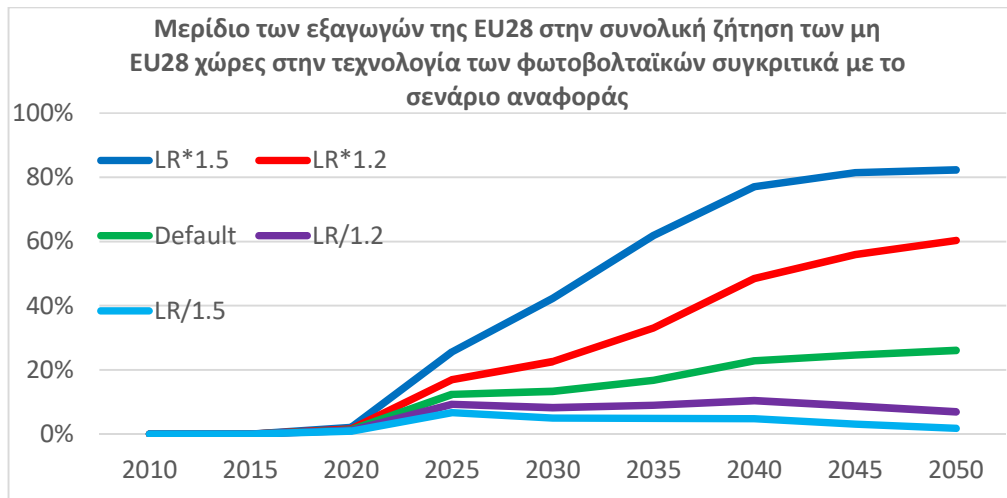
Όπως έχουμε αναλύσει στην προηγούμενη ομάδα σεναρίων, η επιβολή επιπρόσθετου φόρου 200 ευρώ (**REF+200**) στην περιοχή της EU28, οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης των τεχνολογιών χαμηλών και μηδενικών εκπομπών στην EU28. Επιπλέον, μέσω του μηχανισμού μάθησης το κόστος αυτών των τεχνολογιών μειώνεται με αποτέλεσμα οι παραγωγοί αυτών των τεχνολογιών της EU28 να αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα με αποτέλεσμα να αυξάνουν την παραγωγή τους. Το πλεονέκτημα εξαρτάται από το ρυθμό της μάθησης, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μάθησης τόσο περισσότερο αυξάνονται οι πωλήσεις (και οι εξαγωγές) στην χώρα που εφαρμόστηκε η πολιτική. Το παρακάτω Σχήμα 8-20 απεικονίζει τις επιπτώσεις των ρυθμών μάθησης στην παραγωγή των νέων τεχνολογιών στην περιοχή της EU28 συγκριτικά με την περίπτωση του **REF+200**.



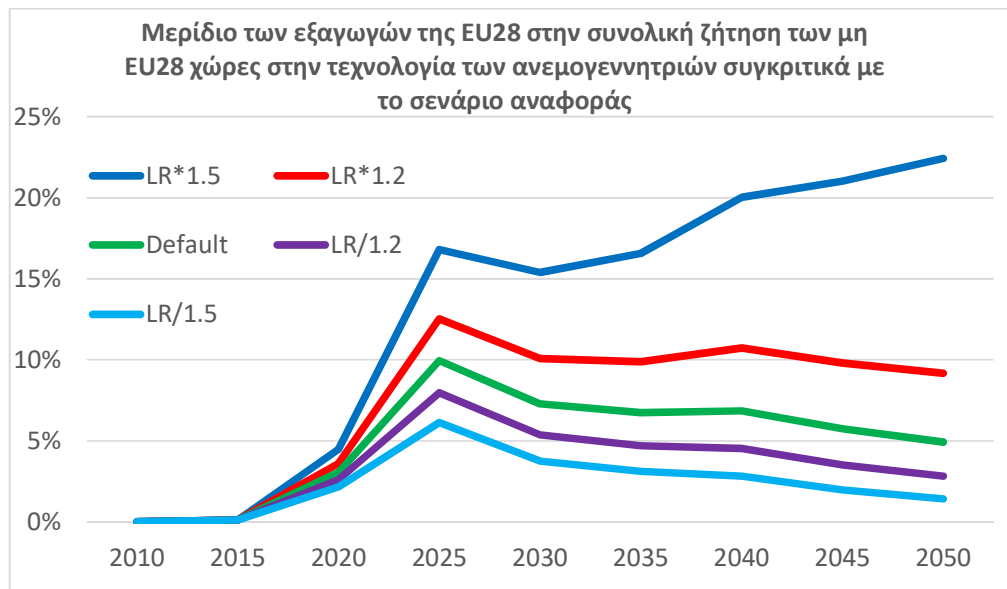
Σχήμα 8-20: Μεταβολές στην παραγωγή των νέων τεχνολογιών στην EU28 συγκριτικά με το σενάριο REF+200 (default)

Την μεγαλύτερη επίδραση στον ρυθμούς μάθησης την βλέπουμε όπως είναι αναμενόμενο στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών (αφού έχουν τον μεγαλύτερο ρυθμό μάθησης). Το ύψος της παραγωγής εξαρτάται από τα οφέλη στην ανταγωνιστικότητα εξαιτίας της μείωσης του κόστους παραγωγής. Ένας δείκτης μέτρησης της ανταγωνιστικότητας είναι οι πωλήσεις που κάνουν οι EU28 στις χώρες εκτός ΕΕ ως ποσοστό της συνολικής τους ζήτησης (βλέπε Σχήμα 8-21). Όσο

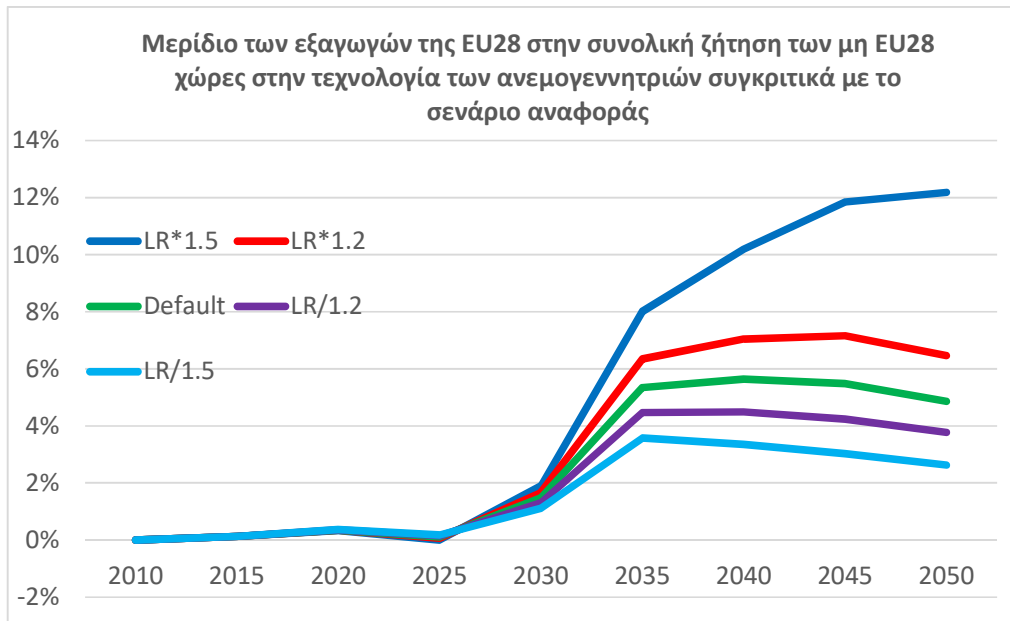
μεγαλύτερος ο ρυθμός μάθησης τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης ανταγωνιστικότητας. Η διάδοση της γνώσης όμως επιδρά αρνητικά στην αύξηση του δείκτη ανταγωνιστικότητας αφού συντελεί στην μείωση του κόστους παραγωγής των υπόλοιπων περιοχών. Αυτό φαίνεται καλύτερα στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Σχήμα 8-22 και Σχήμα 8-23).



Σχήμα 8-21: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χώρες στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς



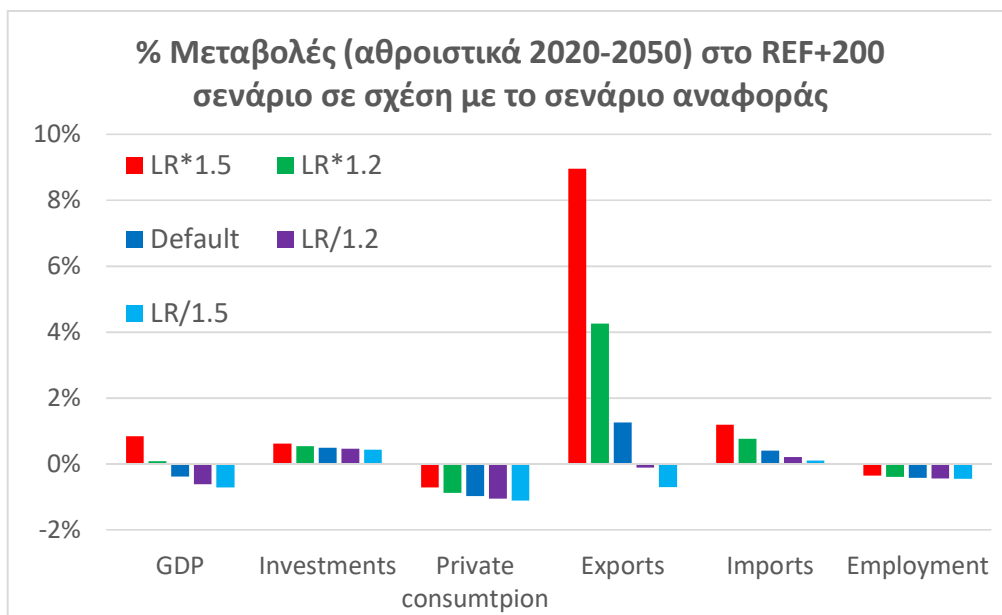
Σχήμα 8-22: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χώρες στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς



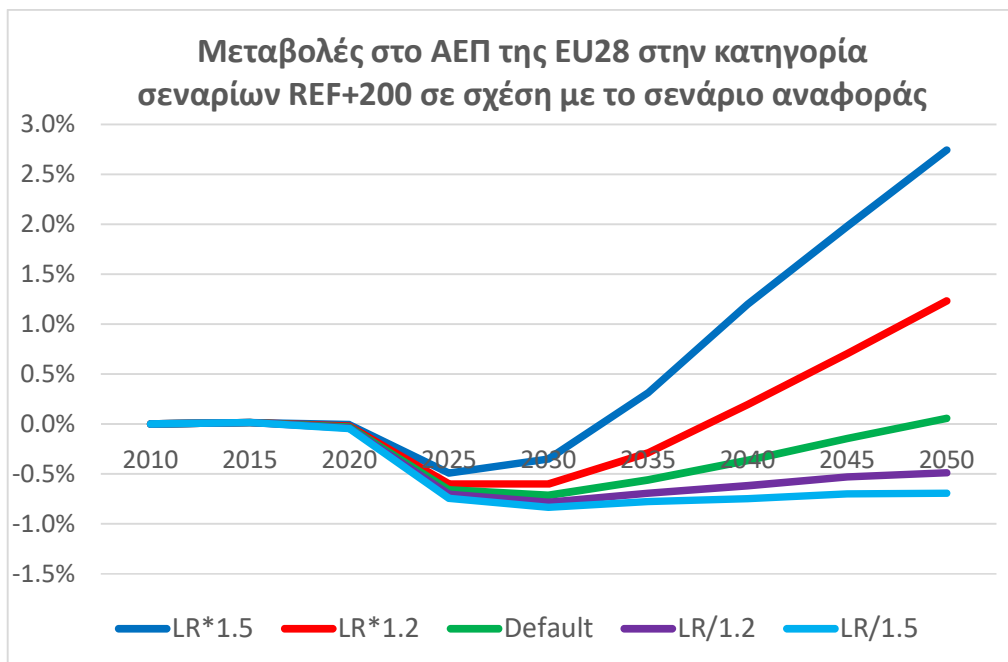
Σχήμα 8-23: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χώρες στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς

8.3.2.2. Μακροοικονομικές επιπτώσεις

Η επιβολή υψηλού φόρου του άνθρακα (REF+200) επηρεάζει την συμπεριφορά της ζήτησης όλων των κλάδων του μοντέλου GEME3-RD. Το Σχήμα 8-24 απεικονίζει τις επιπτώσεις για κάθε συστατικό του ΑΕΠ στις διαφορετικές περιπτώσεις των ρυθμών μάθησης. Η πτώση του ΑΕΠ οφείλεται στην μείωση της κατανάλωσης και στην αύξηση των εισαγωγών. Ενώ, οι μεγαλύτεροι ρυθμοί μάθησης μπορούν ακόμα να αντιστρέψουν το αποτέλεσμα οδηγώντας ακόμα και σε θετικό ΑΕΠ, αφού επηρεάζουν θετικά τις εξαγωγές λόγω της αύξησης της ανταγωνιστικότητας στους τομείς προηγμένης τεχνολογίας (το Σχήμα 8-25 απεικονίζει τις μεταβολές του ΑΕΠ σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για κάθε εναλλακτικό σενάριο).



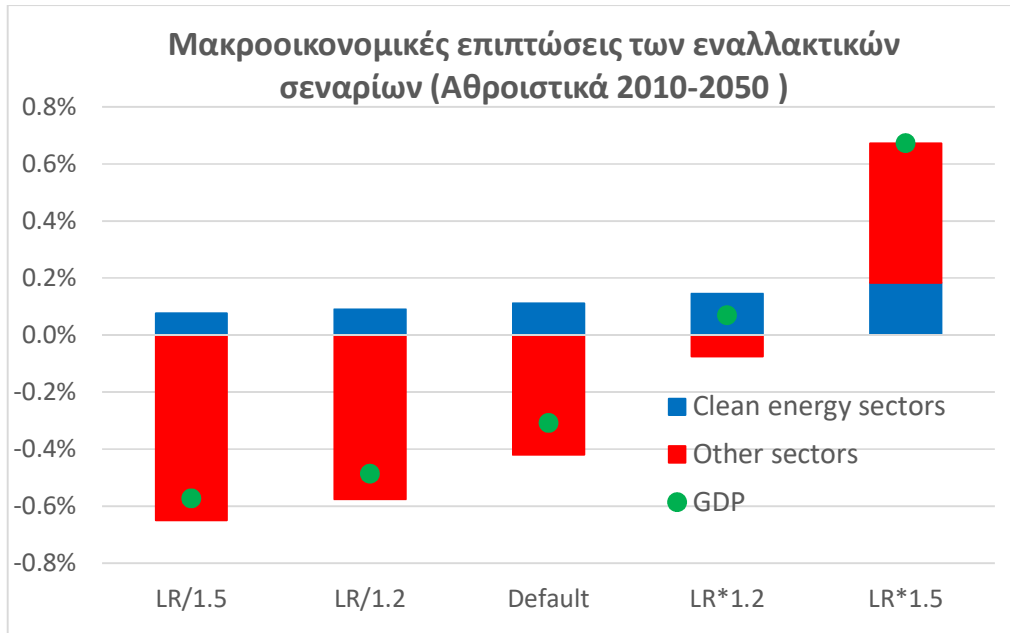
Σχήμα 8-24: Μακροοικονομικές επιπτώσεις διαφορετικών των ρυθμών μάθησης την περίοδο 2020-2050 (αθροιστικά)



Σχήμα 8-25: Μεταβολές στο ΑΕΠ της ΕU28 στην κατηγορία σεναρίων REF+200 και κάθε εναλλακτικό σενάριο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

Το Σχήμα 8-26 συνοψίζει τις μακροοικονομικές επιπτώσεις όλων των εναλλακτικών σεναρίων αθροιστικά (2010-2050) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Η θετική επίπτωση των νέων τεχνολογιών στο ΑΕΠ φαίνεται να αυξάνει όσο οι ρυθμοί μάθησης μεγαλώνουν, κάτι που ωθεί και την υπόλοιπη οικονομία σε άνοδο. Στα **LR/1.5**, **LR/1.2** και **default** η αύξηση των προηγμένων τεχνολογιών απλά μετριάζει το κόστος της ισχυρής τιμολόγησης του άνθρακα, ενώ στις **LRx1.2** και **LRx1.5** οδηγεί ακόμα και σε θετικές επιπτώσεις στο ΑΕΠ.



Σχήμα 8-26: Μακροοικονομικές επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στην κατηγορία σεναρίων REF+200 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (αθροιστικά 2010-2050)

8.3.3. Διαφορετικές ελαστικότητες στο διεθνές εμπόριο (3^η ομάδα)

Η συνολική ζήτηση (τελική και ενδιάμεση) για προϊόντα και υπηρεσίες σε κάθε περιοχή του μοντέλου GEM3-RD ικανοποιείται βέλτιστα από ένα μείγμα εγχωρίων και εισαγόμενων προϊόντων, κάτω από την υπόθεση του Armington⁶² (ατελή υποκατάστατα). Το μείγμα εισαγόμενου και εγχωρίου προϊόντος αναπαρίσταται μέσω μιας συνάρτησης σταθερής ελαστικότητας (nested-CES) δύο επιπέδων, όπου στο πρώτο επίπεδο αποφασίζεται η βέλτιστη κατανομή μεταξύ εισαγόμενου και εγχωρίου προϊόντος και στο δεύτερο οι εισαγωγές κατανέμονται ανά χώρα προέλευσης. Μέτρο του βαθμού υποκατάστασης είναι η ελαστικότητα της Armington, όπου υψηλές τιμές δείχνουν προϊόντα ομοιογενή (και άρα εύκολες υποκαταστάσεις μεταξύ των περιοχών), ενώ χαμηλές υποδηλώνουν υψηλή

⁶²(Armington 1969)

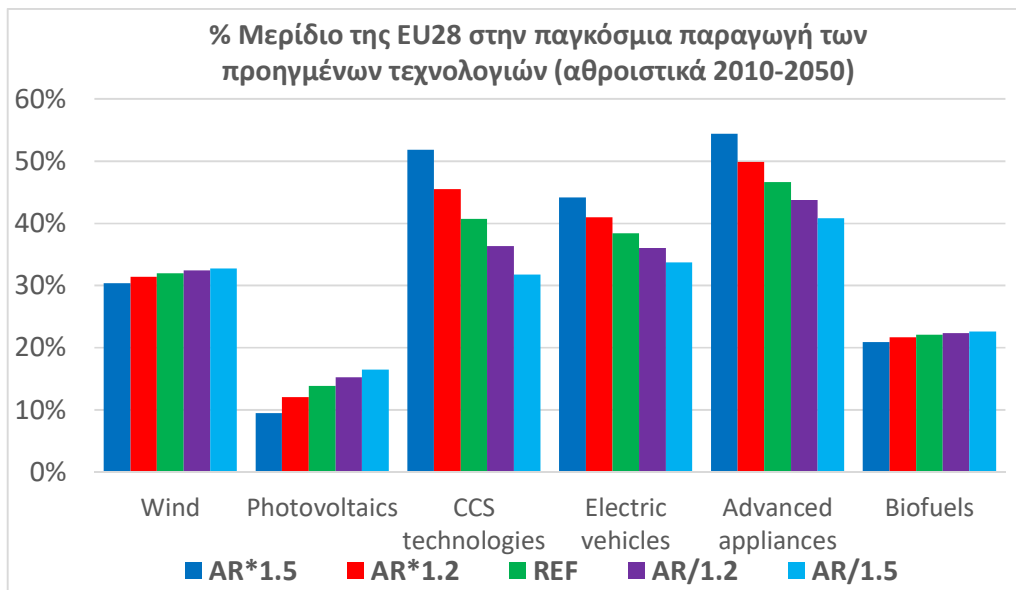
διαφοροποίηση. Οι ελαστικότητες Armington στο GEME3-RD έχουν βασιστεί στις ελαστικότητες του GTAP για τις συμβατικές τεχνολογίες, ενώ για τις προηγμένες έχει γίνει η υπόθεση ότι έχουν την διπλάσια τιμή από τις αντίστοιχες συμβατικές. Η ανάλυση ευαισθησίας σε αυτή την ομάδα σεναρίων έγινε σε διαφορετικές τιμές Armington ελαστικότητας στις προηγμένες τεχνολογίες. Τα εναλλακτικά σενάρια δίνονται ακολούθως:

1. Το σενάριο αναφοράς με της προεπιλεγμένες ελαστικότητες Armington (**AR, default**)
2. Ένα εναλλακτικό σενάριο με 20% μεγαλύτερες ελαστικότητες Armington από την περίπτωση **default (AR · 1. 2)**
3. Ένα εναλλακτικό σενάριο με 50% μεγαλύτερες ελαστικότητες Armington από την περίπτωση **default (AR · 1. 5)**
4. Ένα εναλλακτικό σενάριο με 20% μικρότερες ελαστικότητες Armington από την περίπτωση **default (AR/1. 2)**
5. Ένα εναλλακτικό σενάριο με 50% μικρότερες ελαστικότητες Armington από την περίπτωση **default (AR/1. 5)**

Εκτός από το σενάριο αναφοράς, η ανάλυση ευαισθησίας της ελαστικότητας Armington διεξάγεται και στην περίπτωση της επιπρόσθετης τιμολόγησης άνθρακα **REF + 200**, προκειμένου να εξετασθεί η συμπεριφορά του μοντέλου σε ένα αυστηρό πλαίσιο τιμολόγησης άνθρακα.

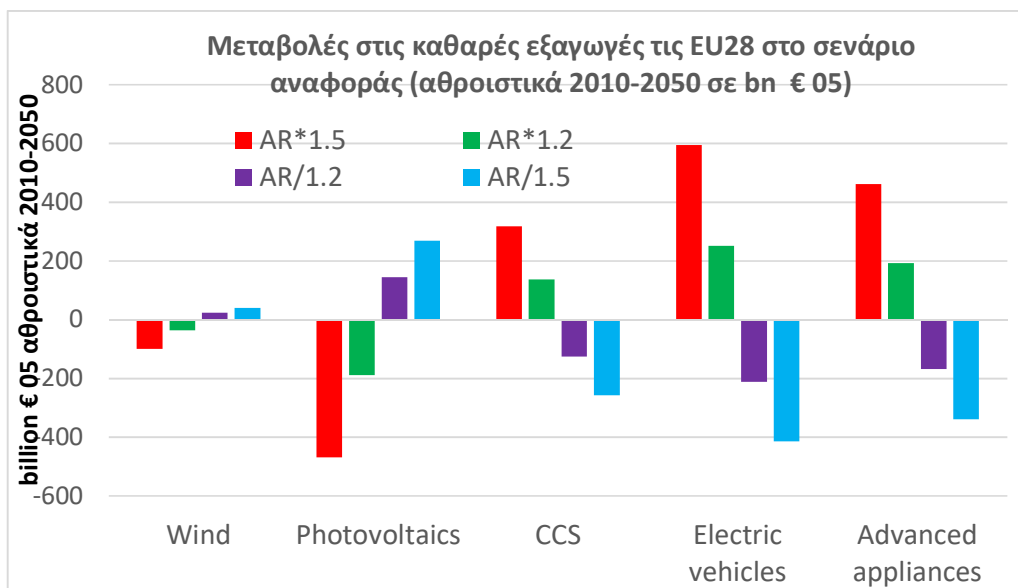
8.3.3.1. Επιπτώσεις στις προηγμένες τεχνολογίες

Το Σχήμα 8-27 απεικονίζει το μερίδιο της EU28 στην παγκόσμια παραγωγή για κάθε προηγμένη τεχνολογία σε κάθε εναλλακτικό σενάριο αθροιστικά την περίοδο 2010-2050. Υψηλότερες τιμές στις ελαστικότητες της Armington δίνουν μεγαλύτερο μερίδιο στις προηγμένες τεχνολογίες, που η EU28 έχει συγκριτικό πλεονέκτημα στις διεθνείς αγορές ήδη από το σενάριο αναφοράς (τεχνολογίες CCS, ηλεκτρικών αυτοκινήτων και ενεργειακά αποδοτικές συσκευές).

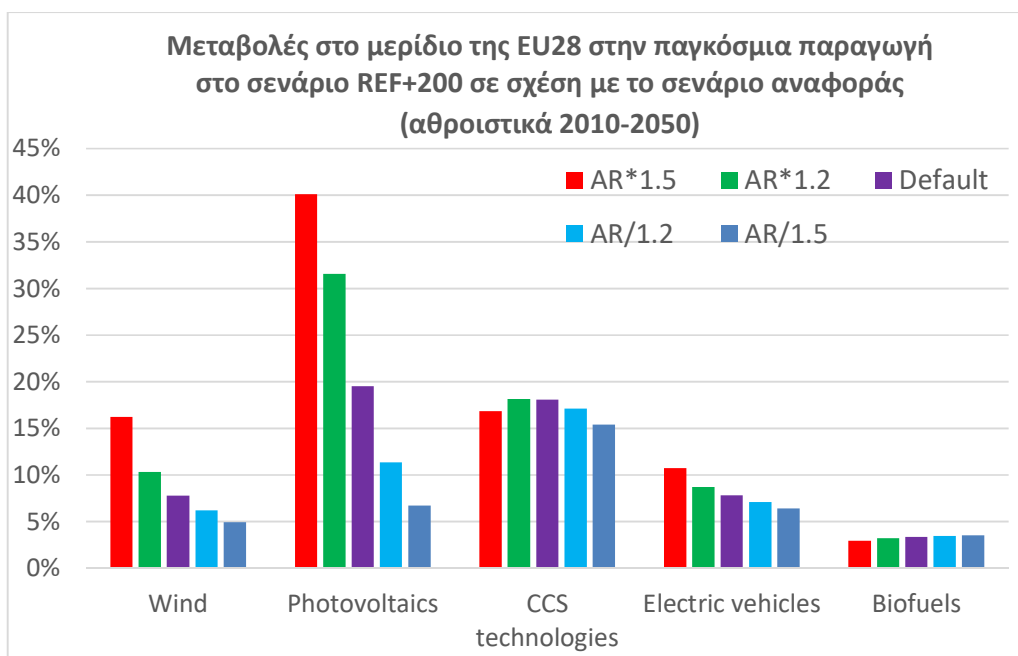


Σχήμα 8-27: Μερίδιο της EU28 στην παγκόσμια παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών για διαφορετικές τιμές ελαστικότητας Armington στο σενάριο αναφοράς

Οι εξαγωγές της EU28 αναμένεται να αυξηθούν σε αυτές τις τεχνολογίες με υψηλότερες τιμές ελαστικότητας της Armington (βλέπε Σχήμα 8-28). Υπάρχουν μεταβολές στο εμπόριο, οι οποίες είναι πιο έντονες για υψηλότερες τιμές ελαστικότητας της Armington. Οι επιπτώσεις στο εμπόριο είναι πιο έντονες στην περίπτωση του σεναρίου REF+200, όπου η EU28 κερδίζει μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια παραγωγή (Σχήμα 8-29). Αυτό προκαλείται από την υψηλότερη εγχώρια ζήτηση της EU28 για προηγμένες τεχνολογίες στο πλαίσιο της ισχυρής τιμολόγησης του άνθρακα που οδηγεί σε αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας μέσω των μηχανισμών μάθησης και σε συνδυασμό με την υψηλότερη ομοιογένεια των προηγμένων τεχνολογιών (σε σχέση με το "default" σενάριο) οδηγούν σε αύξηση των εξαγωγών της EU28 και σε άλλα μέρη του κόσμου.



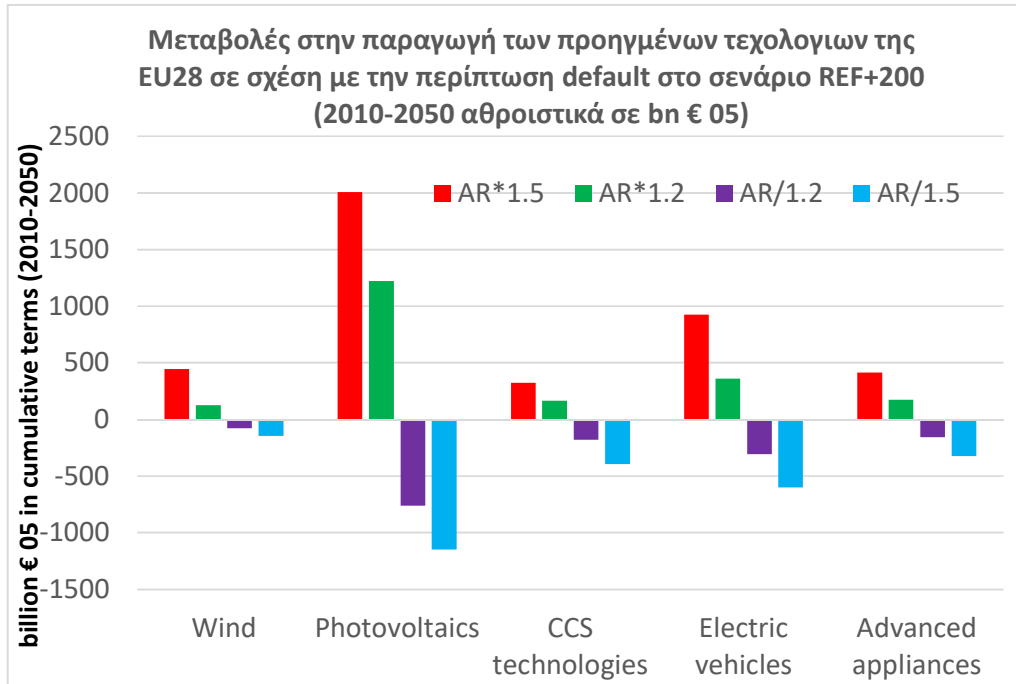
Σχήμα 8-28: Μεταβολές στις καθαρές εξαγωγές τις EU28 στο σενάριο αναφοράς σε σχέση με τον default σενάριο(αθροιστικά 2010-2050 σε bn € 05)



Σχήμα 8-29: Μεταβολές στο μερίδιο της EU28 στην παγκόσμια παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών για διαφορετικές τιμές ελαστικότητας Armington στο σενάριο REF+200 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

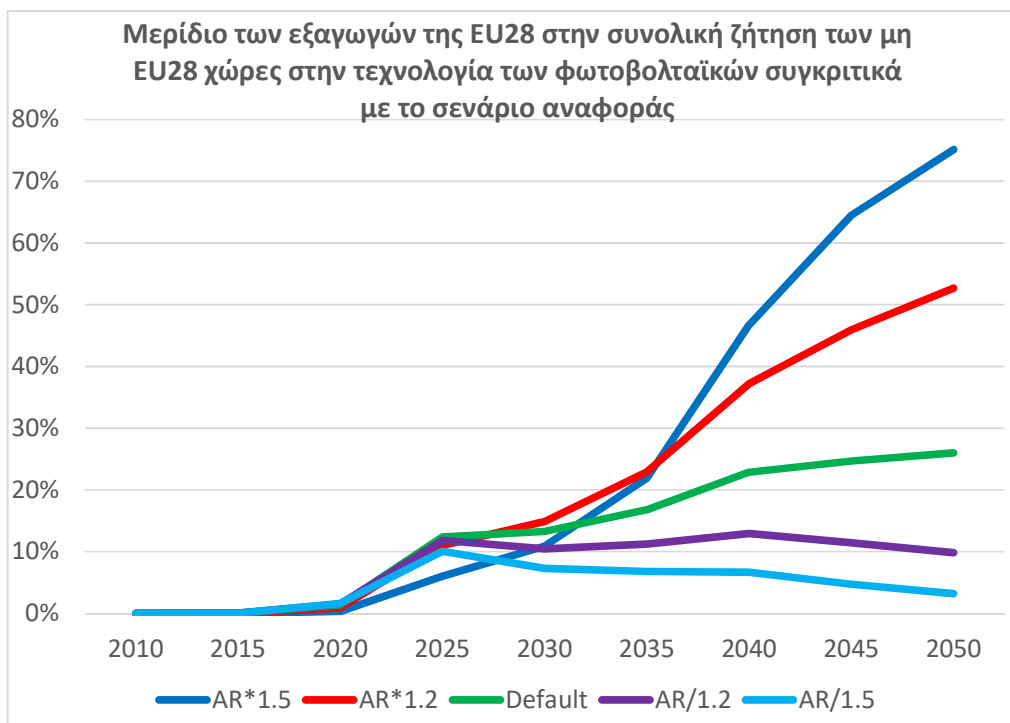
Το Σχήμα 8-30 απεικονίζει τις μεταβολές στην παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών σε σχέση με την περίπτωση των default τιμών στο σενάριο REF+200.

Παρατηρούμε, ότι σε όλες τις τεχνολογίες η παραγωγή είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες τιμές ελαστικότητας της Armington (εκτός από την περίπτωση των βιοκαυσίμων, όπου η EU28 δεν εξάγει στον υπόλοιπο κόσμο, αλλά η παραγωγή καλύπτει μόνο την εγχώρια ζήτηση).

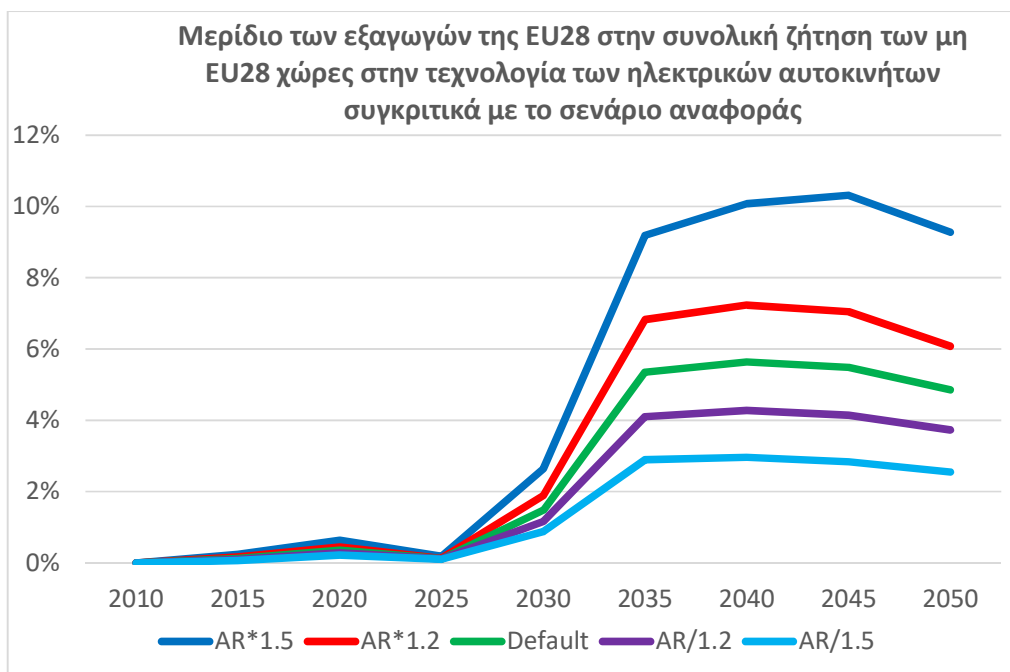


Σχήμα 8-30: Μεταβολές στην παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών στην EU28 στο σενάριο REF+200 διαφορετικές τιμές Armington σε σχέση τις default τιμές (αθροιστικά σε bn € 05)

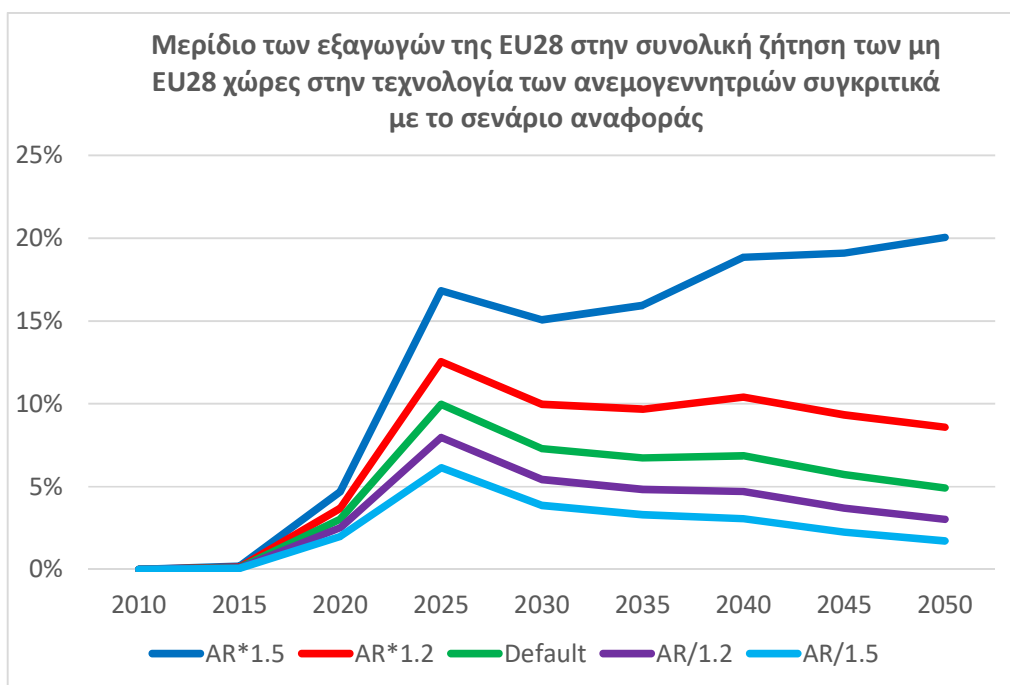
Τα παρακάτω σχήματα απεικονίζουν το μερίδιο των εξαγωγών της EU28 σαν ποσοστό της συνολικής ζήτησης των προηγμένων τεχνολογιών στις χώρες εκτός της EU28 (Σχήμα 8-31, Σχήμα 8-32, Σχήμα 8-33), αντιστοίχως για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των ανεμογεννητριών. Όσο ο βαθμός ομογένειας μεγαλώνει τόσο αυξάνεται η ανταγωνιστικότητα της EU28.



Σχήμα 8-31: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χωρών στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς



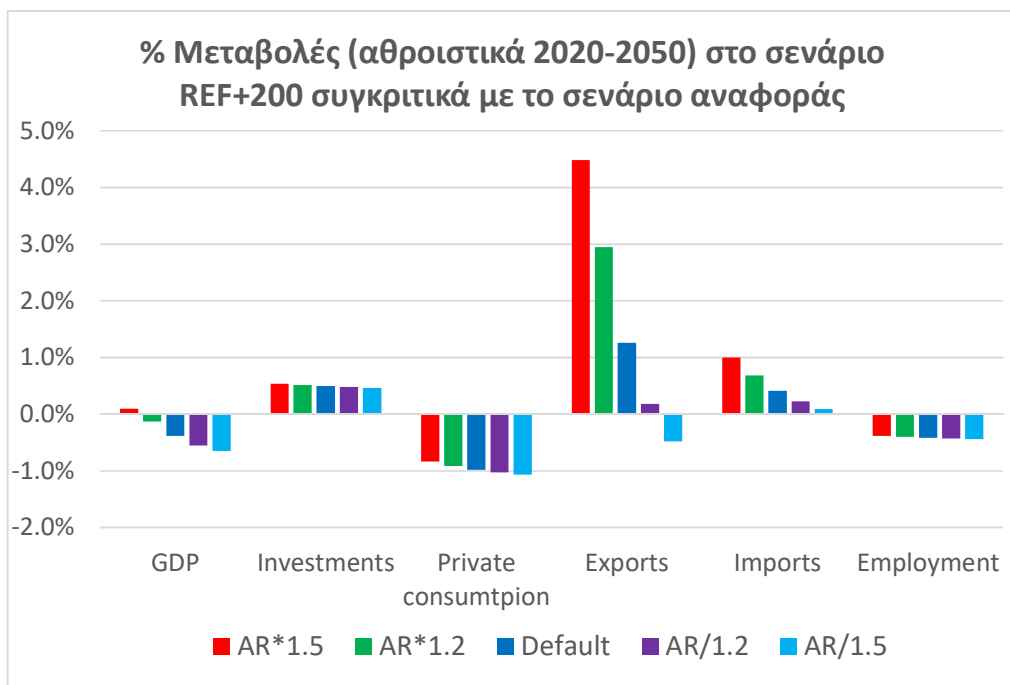
Σχήμα 8-32: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χωρών στην τεχνολογία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς



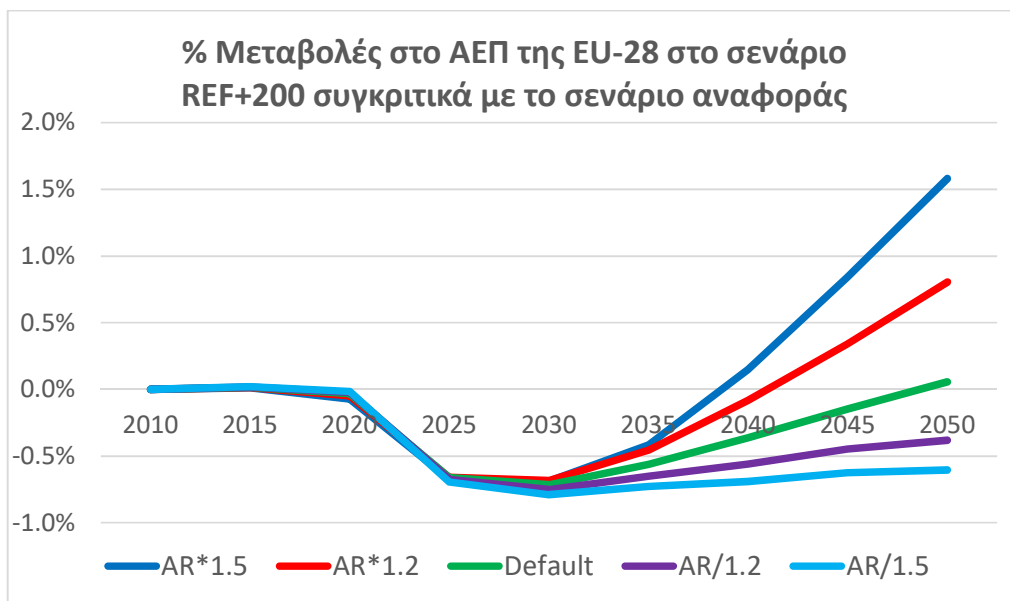
Σχήμα 8-33: Μερίδιο των εξαγωγών της EU28 στην συνολική ζήτηση των μη EU28 χώρες στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς

8.3.3.2. Μακροοικονομικές επιπτώσεις

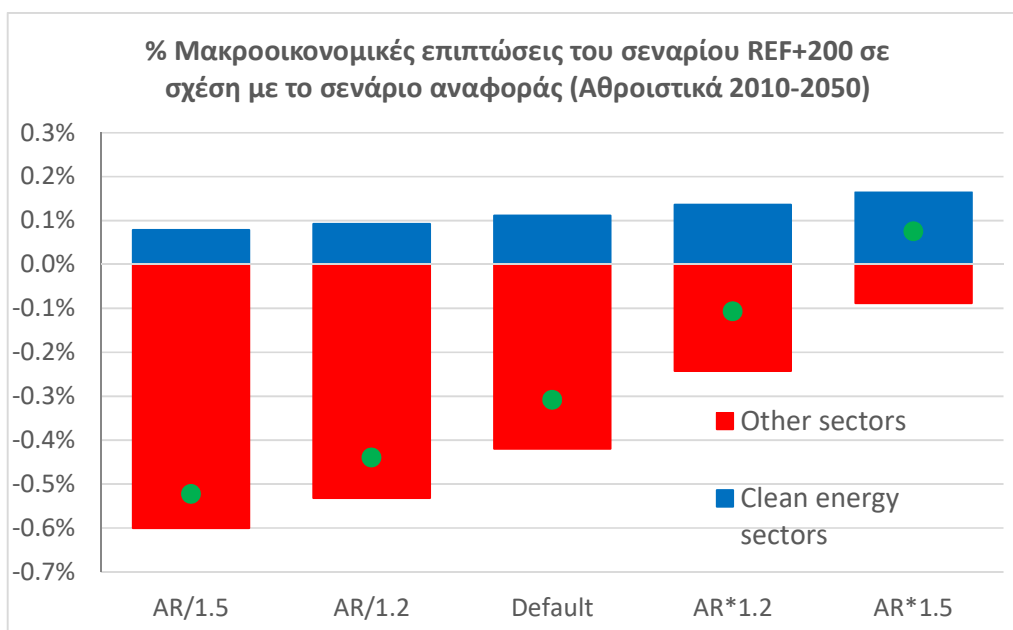
Η επιβολή πρόσθετου φόρου REF+200 στην τιμολόγηση του άνθρακα οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης (Σχήμα 8-34), και αύξηση της ζήτησης προηγμένων τεχνολογιών, η οποία μπορούν να αντισταθμίσει την μείωση του ΑΕΠ λόγω της αύξησης των εξαγωγών. Όσο πιο ομοιογενείς είναι οι προηγμένες τεχνολογίες τόσο πιο ανταγωνιστική γίνεται η EU28. Η εξέλιξη του ΑΕΠ απεικονίζεται στο Σχήμα 8-35, και η συνεισφορά των νέων τεχνολογιών στο ΑΕΠ απεικονίζεται στο Σχήμα 8-36.



Σχήμα 8-34: Μακροοικονομικές επιδράσεις σε διαφορετικές τιμές ελαστικότητας της Armington (αθροιστικά 2020-2050)



Σχήμα 8-35: Μεταβολές στο ΑΕΠ της EU28 στο σενάριο REF+200 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για διαφορετικές τιμές ελαστικότητων της Armington



Σχήμα 8-36: Μακροοικονομικές επιπτώσεις (αθροιστικά 2010-2050) των διαφορετικών τιμών ελαστικότητας της Armington στο σενάριο REF+200 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

8.3.4. Χωρίς τον μηχανισμό ενδογενούς τεχνολογικής προόδου (4^η ομάδα)

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων, εξετάζεται η ευαισθησία του μοντέλου όσον αναφορά τον μηχανισμό της Έρευνας και Ανάπτυξης σε σενάρια χαμηλών και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η ανάλυση του μοντέλου επικεντρώνεται στις επιπτώσεις επιβολής πρόσθετης τιμής άνθρακα στα 200 € από το σενάριο αναφοράς στην περιοχή EU28 με ενεργοποιημένο τον μηχανισμό της Έρευνας και Ανάπτυξης (με όνομα σεναρίου **REF+200 Default**) και απενεργοποιημένο τον μηχανισμό της Έρευνας και Ανάπτυξης (με όνομα σεναρίου **REF+200 without RD**).

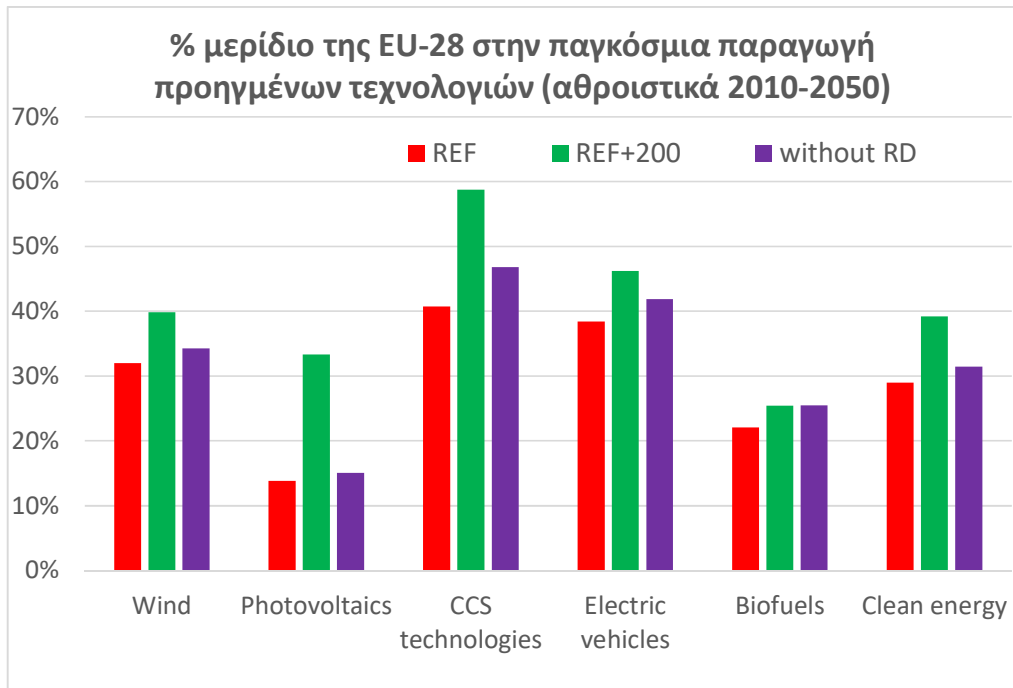
Προκειμένου να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων του μοντέλου, γίνεται η υπόθεση στο σενάριο αναφοράς ότι και στις δύο περιπτώσεις σεναρίων (με και χωρίς τον μηχανισμό E&A) η συνολική παραγωγικότητα κάθε τομέα θα είναι ίδια. Στο σενάριο αναφοράς με ενεργοποιημένο τον μηχανισμό (**REF Default**) η συνολική παραγωγικότητα κάθε τομέα είναι το άθροισμα της εξωγενούς με την ενδογενή παραγωγικότητα, ενώ στο σενάριο που είναι απενεργοποιημένος ο μηχανισμός (**REF without RD**) η συνολική παραγωγικότητα είναι ίση με την εξωγενή. Με την επιβολή του πρόσθετου φόρου άνθρακα στην περίπτωση του (**REF+200 Default**) παρατηρείται ενίσχυση της παραγωγικότητας της ενέργειας εις

βάρος των άλλων παραγωγικότητων (π.χ. εργασίας), ενώ στην περίπτωση (**REF+200 without RD**) οι παραγωγικότητες θα παραμείνουν αμετάβλητες. Στην περίπτωση (**REF+200 without RD**) το μοντέλο θα προσπαθήσει να υποκαταστήσει την ενέργεια με κεφάλαιο στο βαθμό που του επιτρέπει η συναρτησιακή μορφή της CES, αλλά αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο κόστος, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής ζήτησης, ενώ, στην περίπτωση (**REF+200 Default**) οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης για Έρευνα και Ανάπτυξη και μετριασμό του κόστους των καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών και άρα της πολιτικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

8.3.4.1. Παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών

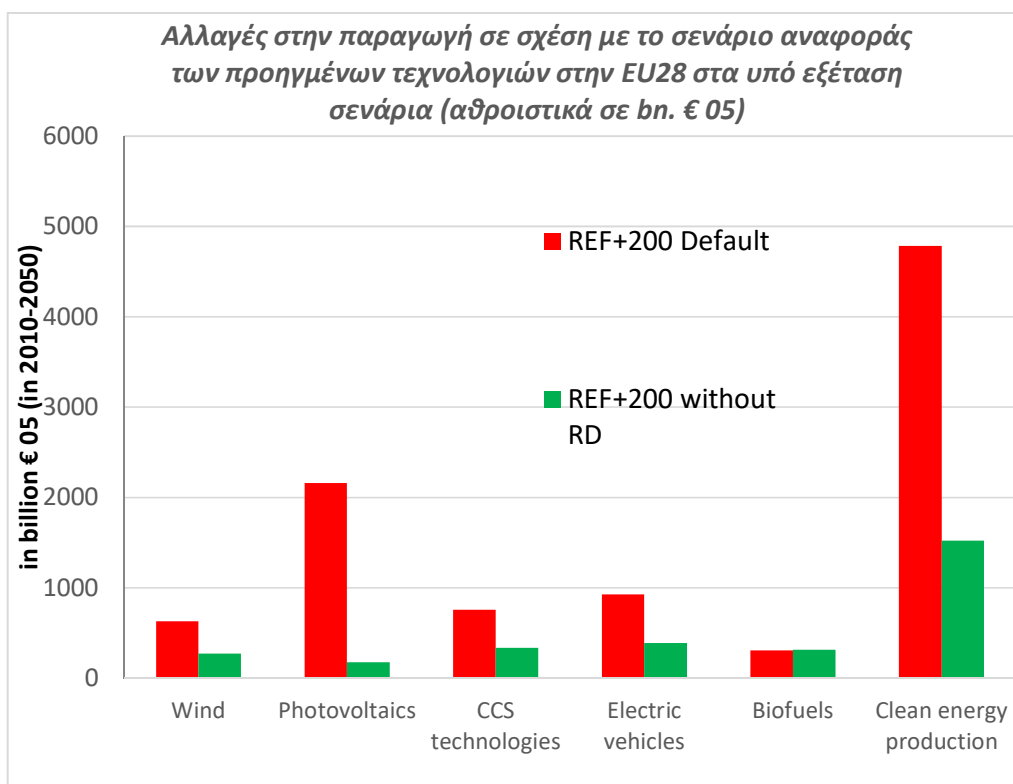
Η επιβολή πρόσθετης τιμολόγησης του άνθρακα στην περιοχή της EU28 συνεπάγεται αυξημένο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της EU28 στην παγκόσμια αγορά καθαρής ενέργειας, οδηγώντας σε υψηλότερη παραγωγή συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς των τεχνολογιών χαμηλών και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η επιβολή πρόσθετης τιμολόγησης του άνθρακα κάνει πιο ανταγωνιστικές τις προηγμένες τεχνολογίες αφού αλλάζει την σχετική τιμή τους σε σύγκριση με τις συμβατικές, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ζήτησή τους. Ο μηχανισμός της μάθησης επιφέρει επιπρόσθετη μείωση του κόστους των προηγμένων τεχνολογιών με αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της ζήτησης των προηγμένων τεχνολογιών (ενδογενής μεγέθυνση). Επιπλέον, η μείωση τιμής των προηγμένων τεχνολογιών αυξάνει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της EU28, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι εξαγωγές της στις προηγμένες τεχνολογίες και κατά συνέπεια να αυξάνεται η παραγωγή της.

Έτσι, το μερίδιο της EU28 στην παγκόσμια παραγωγή προηγμένων τεχνολογιών προβλέπεται να αυξηθεί από 29% που ήταν στο σενάριο αναφοράς σε 39% στο **REF+200 Default** σενάριο. Στο σενάριο **REF+200 without RD**, η διαφορά στο μερίδιο σε σχέση με το σενάριο **REF+200 Default** οφείλεται στην έλλειψη του μηχανισμού Έρευνας και Ανάπτυξης με αποτέλεσμα η Ευρώπη να μην αποκτά ανταγωνιστικό πλεονέκτημα αφού δεν υπάρχει περαιτέρω μείωση τιμής εξαιτίας των μηχανισμών μάθησης. Αντίθετα το κόστος αυξάνεται από την πίεση της ζήτησης στις αγορές κεφαλαίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των εξαγωγών και περιορισμένη αύξηση της παραγωγής της τάξης των 2 ποσοστιαίων μονάδων, ώστε να καλύψει περιορισμένα την αυξημένη ζήτηση εντός της EU28 (Σχήμα 8-37).



Σχήμα 8-37: Μερίδιο της EU28 στην παγκόσμια παραγωγή προηγμένων τεχνολογιών (αθροιστικά από το 2010 έως 2050)

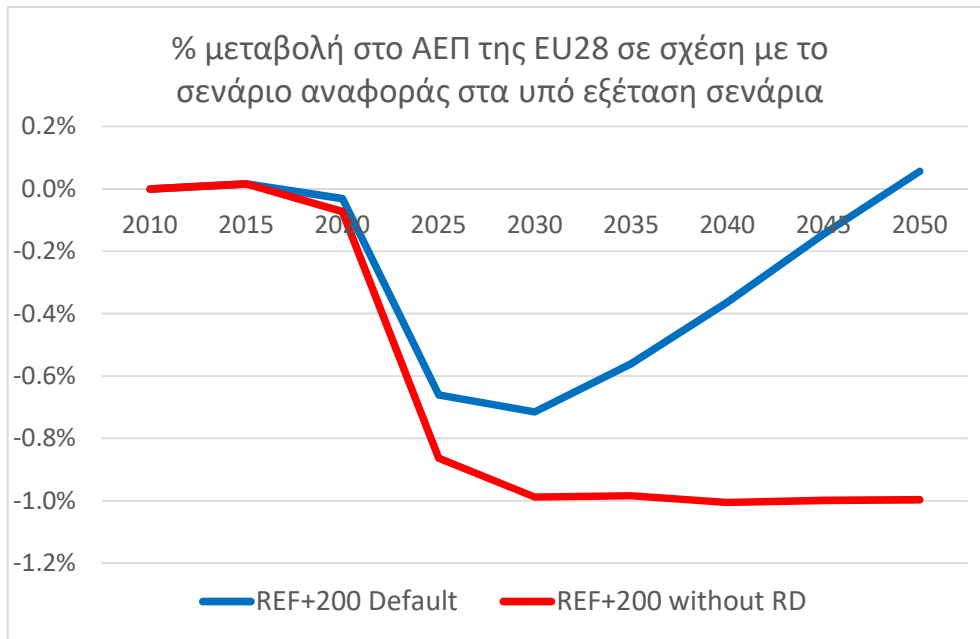
Το Σχήμα 8-38 συνοψίζει τις αλλαγές στην αθροιστική παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών στην EU28 στα υπό εξέταση σενάρια **REF+200 Default** και **REF+200 without RD** σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Στο σενάριο **REF+200 Default** παρατηρείται αύξηση της παραγωγής των προηγμένων τεχνολογιών κατά 4.8 τρισεκατομμυρίων δολαρίων, περίπου τριπλάσια από την αύξηση παραγωγής στο σενάριο **REF+200 without RD**. Δεδομένου ότι και στα δύο σενάρια, η ζήτηση εντός της EU28 για προηγμένες τεχνολογίες είναι περίπου ίδια, η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων οφείλεται κυρίως στην αύξηση των εξαγωγών των προηγμένων τεχνολογιών στο σενάριο **REF+200 Default**.



Σχήμα 8-38: Αλλαγές στην παραγωγή των προηγμένων τεχνολογιών στην EU28 στα υπό εξέταση σενάρια (αθροιστικά σε bn. € 05)

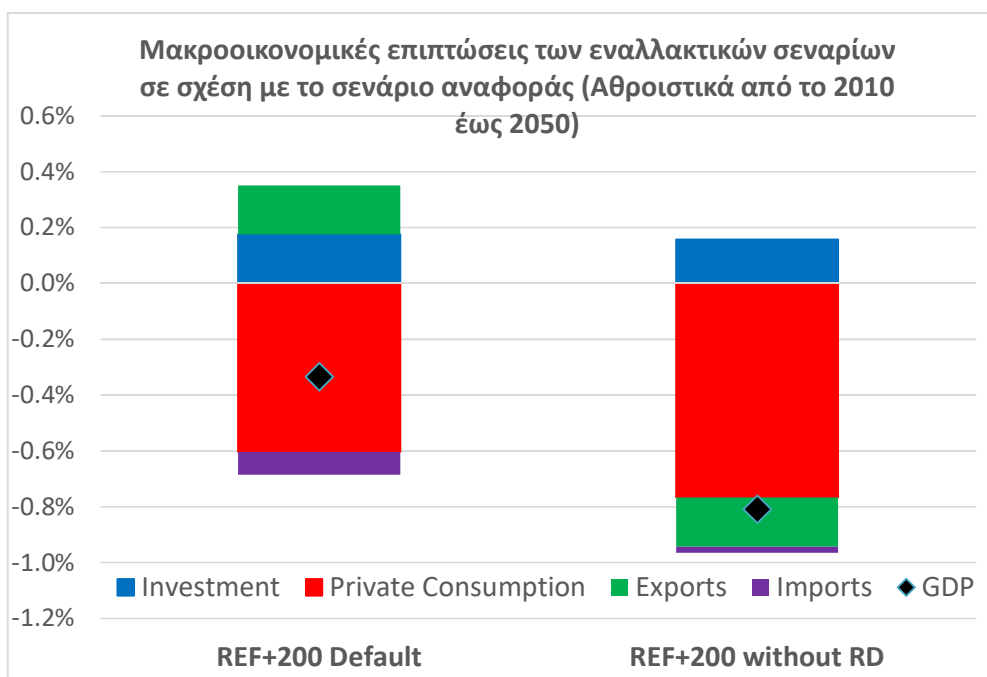
8.3.4.2. Μακροοικονομικές επιπτώσεις

Η ενδογενοποίηση της τεχνολογικής προόδου τόσο στους τομείς προηγμένης τεχνολογίας μέσω των καμπυλών μάθησης, όσο και στους άλλους τομείς με αύξηση της τεχνολογικής προόδου της ενέργειας οδηγεί σε μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος της οικονομίας και μετριάζει τις επιπτώσεις της επιβολής του φόρου του άνθρακα σε βαθμό που μπορεί μακροχρόνια να έχει ακόμα και κέρδος, εξ' αιτίας του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος που αποκτά στις προηγμένες τεχνολογίες (Σχήμα 8-39). Στο σενάριο **REF+200 without RD** το κόστος μετασχηματισμού οδηγεί σε απώλειες για την EU28 της τάξης 0.9% του ΑΕΠ την περίοδο 2020-2050 (Σχήμα 8-40).



Σχήμα 8-39: Μεταβολές στο ΑΕΠ της EU28 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς στα υπό εξέταση σενάρια

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την συνεισφορά του κάθε συστατικού του ΑΕΠ στην μεταβολή του σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς αθροιστικά την περίοδο 2020-2050. Στην περίπτωση υψηλής τιμολόγησης στην τιμή του άνθρακα, η μεγαλύτερη επίπτωση του κόστους οφείλεται στην μείωση την ιδιωτικής κατανάλωσης, αφού εξ' αιτίας του κόστους μετασχηματισμού μειώνεται το εισόδημα των νοικοκυριών. Ο μετασχηματισμός οδηγεί σε αύξηση των επενδύσεων, ενώ, στην περίπτωση του σεναρίου **REF+200 Default** το κόστος μετριάζεται με την αύξηση των εξαγωγών των προηγμένων τεχνολογιών.



Σχήμα 8-40: Μακροοικονομικές επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (Αθροιστικά από το 2010 έως 2050)

8.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά του μοντέλου GEME3-RD της παρούσας διατριβής, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από διαγνωστικούς ελέγχους. Οι διαγνωστικοί έλεγχοι επικεντρώθηκαν στην συμπεριφορά του μοντέλου σε σενάρια πολιτικών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, έχει επιβληθεί ένας γενικός φόρος στην περιοχή της EU28. Η εφαρμογή του πρόσθετου φόρου επιφέρει αρνητικές συνέπειες στο ΑΕΠ της EU28, αφού το υψηλό κόστος μειώνει το εισόδημα του νοικοκυριού με αποτέλεσμα να μειώσει την κατανάλωσή του. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο κόστος με αποτέλεσμα να χάνουν σε ανταγωνιστικότητα στους τομείς έντασης ενέργειας. Νοικοκυριά και επιχειρήσεις υποκαθιστούν συμβατικές τεχνολογίες με προηγμένες, φθηνές συμβατικές με ακριβές ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες, που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του ΑΕΠ. Όσο μεγαλύτερος είναι ο φόρος του άνθρακα τόσο πιο έντονο το φαινόμενο της μείωσης.

Ο μηχανισμός της Έρευνας και Ανάπτυξης συντελεί στο μετριασμό αυτού του αρνητικού αποτελέσματος. Η ζήτηση για προηγμένες τεχνολογίες αυξάνεται, ενώ οι προηγμένες τεχνολογίες είναι σε μεγάλο βαθμό εγχωρίως παραγόμενες. Επιπλέον, οι συμβατικές τεχνολογίες χρησιμοποιούν ως ενέργεια (συμβατικά) καύσιμα τα

οποία σε μεγάλο βαθμό είναι εισαγόμενα, ενώ οι προηγμένες εγχωρίως παραγόμενη ενέργεια. Οι παραγωγοί μέσω της διαδικασίας της μάθησης μειώνουν το κόστος παραγωγής τους, με αποτέλεσμα να γίνονται περισσότερο ανταγωνιστικοί. Ο βαθμός του δείκτη ανταγωνιστικότητας εξαρτάται από την μείωση κόστους και την ομοιογένεια του προϊόντος. Μεγαλύτεροι ρυθμοί μάθησης οδηγούν σε χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα, μεγαλύτερη ομοιογένεια προϊόντος μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα. Μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα οδηγεί την EU28 σε αύξηση των εξαγωγών, αφού οι μηχανισμοί μάθησης μειώνουν το κόστος παραγωγής των προηγμένων τεχνολογιών.

Χωρίς τον μηχανισμό Έρευνας και Ανάπτυξης, το κόστος είναι μεγαλύτερο αφού δεν υπάρχουν μηχανισμοί μετριασμού. Η διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης αυξάνει την παραγωγικότητα στην ενέργεια σε όλους τους τομείς της οικονομίας και μειώνει το κόστος των προηγμένων τεχνολογιών, κάτι που μπορεί ακόμα και να οδηγήσει σε θετικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Εμπόδιο, στην πορεία της EU28 για μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά των προηγμένων τεχνολογιών είναι ο μηχανισμός της διάδοσης της γνώσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πλεονέκτημα της EU28 να είναι έντονο τα πρώτα χρόνια και να εξασθενεί μετά από δύο πενταετίες.

Κεφάλαιο 9

9. Τα αναπτυξιακά οφέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως πρωτοπόρος στην πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

9.1. Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει αποτελέσματα των σεναρίων πολιτικής που ποσοτικοποιήθηκαν με τη χρήση του μοντέλου GEME3-RD, δίνοντας μια πρακτική εφαρμογή του μοντέλου που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Τα σεναρία που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο εξετάζουν τις μακροοικονομικές και κλαδικές επιπτώσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) από την πρωτοπόρα εφαρμογή φιλόδοξων πολιτικών για το κλίμα. Οι πολιτικές αυτές έχουν στόχο τη ραγδαία μείωση των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050, ενώ εξετάζονται δύο εναλλακτικά σεναρία: i) η ΕΕ υιοθετεί μονομερώς φιλόδοξες πολιτικές για την αντιμετώπιση του κόστους της κλιματικής αλλαγής και ii) ο υπόλοιπος κόσμος, μαζί με την ΕΕ, συνδράμει στην προσπάθεια αυτή, με υιοθέτηση αντίστοιχων πολιτικών. Στην παρούσα εφαρμογή εξετάζουμε το κόστος εφαρμογής αλλά και τα πιθανά αναπτυξιακά οφέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την υιοθέτηση φιλόδοξων κλιματικών πολιτικών.

Παρά την ευρεία αναγνώριση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην παγκόσμια οικονομία και στην κοινωνική ευημερία, ελάχιστη πρόοδος έχει σημειωθεί διεθνώς προς την κατεύθυνση της αξιολόγησης των οικονομικών επιπτώσεων των συντονισμένων δράσεων για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Προκειμένου να μετριαστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, οι παγκόσμιες εκπομπές πρέπει να αρχίσουν από σήμερα να μειώνονται. Οι υποσχέσεις μείωσης των εκπομπών, που υποβλήθηκαν από διάφορες χώρες στο πλαίσιο των διαδικασιών της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) παρουσιάζουν έντονες ασυμμετρίες μεταξύ των χωρών. Επιπλέον, οι υποσχέσεις δεν είναι δεσμευτικές, οπότε δημιουργούνται αμφιβολίες σχετικά με την πραγματοποίηση των δεσμεύσεων των χωρών που συμμετέχουν.

Η ΕΕ κατέχει ηγετική θέση στην παγκόσμια προσπάθεια για την βελτίωση της κλιματικής αλλαγής. Η ΕΕ έχει ήδη θέσει φιλόδοξους στόχους για την ενεργειακή πολιτική με στόχο τη μείωση 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το

2020, 40% έως το 2030 και 80% το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Επίσης, η ΕΕ έχει θεσπίσει το μεγαλύτερο παγκοσμίως σύστημα εμπορίας αδειών εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (EU-ETS), ενώ τα κράτη μέλη έχουν ήδη συμφωνήσει και αναλάβει σε εθνικό επίπεδο ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Το 2013 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε την Πράσινη Βίβλο, με σκοπό να επεκτείνει έως το 2030 το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο του 2020 (COM(2013) 169 final 2013) και να τεθούν συγκεκριμένοι στόχοι για το κλίμα, που να εναρμονίζονται με εκείνον της ΕΕ για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπως ορίζεται στον Ενεργειακό Οδικό Χάρτη του 2050 (Decker, Vasakova, and others 2011). Πέραν της ΕΕ, πολιτικές για το κλίμα υιοθετήθηκαν από χώρες με υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα και η Ινδία. Οι πολιτικές αυτές όμως δεν είναι αρκετά φιλόδοξες, ώστε να εξασφαλιστούν οι αναγκαίες μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες κρίνονται αναγκαίες για τον περιορισμό της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, όπως ορίζεται στην Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC (IPCC 2007).

Θεωρείται από πολλούς ότι η ασυμμετρία των πολιτικών μεταξύ των χωρών έχει αρνητικές μακροοικονομικές επιπτώσεις για τις χώρες που αναλαμβάνουν δράση. Κατά συνέπεια, η πολιτική της ΕΕ τίθεται από πολλούς προς αμφισβήτηση σχετικά με το χρόνο ανάληψης δράσης από την πλευρά της ΕΕ, ενώ ο υπόλοιπος κόσμος δεν έχει αναλάβει αντίστοιχες δεσμεύσεις. Ερωτήματα που προκύπτουν από μακροοικονομικής απόψεως αφορούν στο αν είναι βέλτιστο για την ΕΕ να αναβάλλει τη φιλόδοξη κλιματική δράση και να περιμένει μέχρις ότου ο υπόλοιπος κόσμος εφαρμόσει αντίστοιχες πολιτικές για το κλίμα.

Προφανώς, το κόστος και τα οφέλη από την μονομερή εφαρμογή πολιτικών για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος από την ΕΕ, διαφοροποιούνται συγκριτικά με την περίπτωση συντονισμένων πολιτικών από πολλές περιοχές του κόσμου. Οι επιπτώσεις ανά κλάδο δραστηριότητας, είναι επίσης διαφορετικές. Με δεδομένο τον ηγετικό ρόλο που κατέχει η ΕΕ στην υιοθέτηση δράσεων για την κλιματική αλλαγή, το κρίσιμο ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσον η ΕΕ θα μπορούσε να αποκομίσει οφέλη ως πρωτοπόρος στην κλιματική δράση. Τα οφέλη αυτά, τα οποία είναι υπό εξέταση στην παρούσα έρευνα, σχετίζονται με την τεχνολογική πρόοδο δύναται να δικαιολογήσουν την ανάληψη μονομερούς δράσης.

Οι χώρες με φιλόδοξες δράσεις για το κλίμα βρίσκονται αντιμέτωπες με τον κίνδυνο της βιομηχανικής μετεγκατάστασης σε άλλες χώρες χωρίς φιλόδοξους στόχους (Otto et al. 2015). Η τυχόν αποδυνάμωση της ανταγωνιστικότητας της ΕΕ, εξαιτίας του υψηλού ενεργειακού κόστους που συνεπάγεται η μονομερής επιδίωξη της μείωσης εκπομπών, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως επιχειρήμα που υποστηρίζει την καθυστέρηση εφαρμογής φιλόδοξων πολιτικών μείωσης των εκπομπών μέχρι ότου και ο υπόλοιπος κόσμος ακολουθήσει παρόμοια πολιτική.

Το αντεπιχείρημα δίνει έμφαση στη δυνατότητα επιτάχυνσης της ανάπτυξης νέων καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών, οι οποίες επιτρέπουν την μείωση των εκπομπών αλλά και προσδίδουν ευκαιρίες ανάπτυξης της εγχώριας και εξαγωγικής δραστηριότητας της χώρας ή ομάδας χωρών που αναπτύσσει πρώτη τις τεχνολογίες αυτές. Σε αυτό έγκειται το ενδεχόμενο πλεονεκτήματος του πρωτοπόρου “first mover advantage”, εφόσον προβεί σε μονομερείς φιλόδοξες δράσεις για το κλίμα. Σε επίπεδο χωρών, το πλεονέκτημα του πρωτοπόρου έχει συσχετιστεί με οφέλη στην μείωση του κόστους παραγωγής και με υψηλότερα κέρδη από τις εξαγωγές στις νέες καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, κα). Τα οφέλη για την ΕΕ από την πρωτοπόρα φιλόδοξη κλιματική δράση εξαρτώνται i) από την αντίδραση των άλλων χωρών στις ενέργειες της ΕΕ και ii) από την ταχύτητα διάδοσης των νέων τεχνολογιών.

Στην περίπτωση όπου, η ταχύτητα διάδοσης/διάχυσης της γνώσης είναι μεγάλη, τότε ο πρωτοπόρος κινδυνεύει να έχει μόνο κόστος ή περιορισμένο όφελος. Αλλά αν οι άλλοι ακολουθήσουν τον πρωτοπόρο, αυτό ενδέχεται να έχει θετικά αποτελέσματα, ακόμη και αν ο πρωτοπόρος δεν προλάβει να αποπληρώσει το αρχικό κόστος της επένδυσής του. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία του διεθνούς εμπορίου οι εθνικοί αυστηροί στόχοι για τις εκπομπές συνεπάγονται εξειδίκευση στη μείωση των εκπομπών και σε τεχνολογίες καθαρής παραγωγής ενέργειας. Οι χώρες που απολαμβάνουν τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου είναι εκείνες που πρώτες υιοθετούν ένα επιτυχημένο πλαίσιο πρωτοποριακής καινοτομίας (για παράδειγμα η Δανία ως πρωτοπόρος χώρα στην κατασκευή ανεμογεννητριών). Η ΕΕ αποτελεί μια ενιαία αγορά, όπου η γνώση εύκολα διαχέεται μεταξύ των περιφερειών/κρατών μελών της, αφού είναι εύκολα διαθέσιμη/προσβάσιμη στο ευρύ κοινό της (όπως υποθέτουν οι (Romer 1986) και (Lucas 1988))

Οι μέχρι σήμερα μελέτες επικεντρώνονται σε ασύμμετρες πολιτικές μετριασμού για το κλίμα, αλλά παρέχουν περιορισμένες γνώσεις σχετικά με τις δυνητικές επιπτώσεις στην εγχώρια βιομηχανία, ιδιαίτερα όσον αφορά στις επιπτώσεις της μονομερούς δράσης και άρα ηγεσίας μιας χώρας στην παγκόσμια

τεχνολογία. Το παρόν κεφάλαιο επεκτείνει και συμπληρώνει την εμπειρική έρευνα, εμβαθύνοντας στις επιπτώσεις για την ευρωπαϊκή οικονομία του να είναι πρωτοπόρος στην εφαρμογή φιλόδοξων πολιτικών για το κλίμα. Ο στόχος είναι να διαπιστωθεί αν υπάρχουν πλεονεκτήματα ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών, και να ποσοτικοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη εναλλακτικές επιλογές για τη διεθνή προσπάθεια απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου αφορούν πιο συγκεκριμένα, πιθανά οφέλη στο ΑΕΠ, στο εμπόριο (λόγω αύξησης της ανταγωνιστικότητας) και στην απασχόληση και σχετίζονται με την ανάπτυξη των καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών που απαιτούνται για την υλοποίηση της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών έως το 2050.

Η εμπειρική εκτίμηση βασίζεται στο μοντέλο GEM-E3-RD, ένα δυναμικό μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής οικονομικής ισορροπίας, το οποίο ενσωματώνει ενδογενώς την τεχνολογική πρόοδο. Στο μοντέλο, η παραγωγικότητα (δηλαδή η τεχνολογική πρόοδος) δεν είναι εξωγενής, όπως στα συμβατικά μοντέλα, αλλά συνδέεται με την καινοτομία μέσω ενός ενδογενούς μηχανισμού επενδύσεων στον τομέα της Έρευνας και Ανάπτυξης (E&A) που επηρεάζεται από τις (ταυτόχρονες) μεταβολές των σχετικών τιμών στην οικονομία. Η μεταβολή των τιμών σε ένα τομέα ή ένα προϊόν αποτελεί «σήμα» προς τις επιχειρήσεις ώστε να αυξήσουν τις δαπάνες τους σε E&A για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και η ποιότητα του προϊόντος τους. Τα οφέλη από την παραγωγικότερη χρήση των συντελεστών παραγωγής ή από τη χρήση προϊόντων υψηλότερης ποιότητας (ενδιάμεσων προϊόντων) στην παραγωγή, αντισταθμίζουν ή μετριάζουν την επίπτωση της αύξησης του κόστους που επέρχεται λόγω του μετασχηματισμού για τη μείωση των εκπομπών. Το μοντέλο δίνει έμφαση στη λεπτομερή παρουσίαση των ενεργειακών τομέων, των τομέων παραγωγής τεχνολογιών καθαρής ενέργειας και προηγμένου ενεργειακά αποδοτικού οικιακού εξοπλισμού, οχημάτων και εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και συνεπώς σημαντική συνεισφορά της παρούσας εργασίας αφορά στην συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων. Επίσης, το μοντέλο αναπαριστά τις σχέσεις μεταξύ της παραγωγής προηγμένων τεχνολογιών/καυσίμων με τους υπόλοιπους βιομηχανικούς τομείς και υπηρεσίες. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη συνεκτική και συνολική ποσοτικοποίηση των πιθανών κερδών στους τομείς προηγμένης τεχνολογίας/καυσίμων και τη διάδοσή τους σε ολόκληρη την οικονομία. Ο προσδιοριστικός παράγοντας της Έρευνας και Ανάπτυξης, και κατά συνέπεια και της τεχνολογικής πρόοδου, είναι η φιλόδοξη προσπάθεια για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Στην περίπτωση έλλειψης ενός μηχανισμού ενδογενούς τεχνολογικής προόδου, η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα θα συνεπάγεται υψηλό κόστος για την οικονομία, καθώς το κόστος των προηγμένων καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών/καυσίμων θα παραμείνει σε υψηλά επίπεδα. Στην αντίθετη περίπτωση όμως (ενδογενούς τεχνολογικής προόδου), οι τιμές μειώνονται δυναμικά, με τρόπο παρόμοιο με τον μηχανισμό εκμάθησης μέσα από τη πράξη: η μεγαλύτερης κλίμακας διείσδυση στην αγορά προηγμένου εξοπλισμού/καυσίμων συνεπάγεται μεγαλύτερη μείωση του κόστους, και ως εκ τούτου μεγαλύτερη πρόοδο.

Το μοντέλο GEME3-RD χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση του σεναρίου αναφοράς και τριών σεναρίων απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Στο σενάριο αναφοράς οι χώρες περιορίζονται στις υπάρχουσες πολιτικές για την ενέργεια και το κλίμα. Στα σενάρια μετριασμού των εκπομπών προσομοιώνονται οι εναλλακτικές επιλογές της ΕΕ και της παγκόσμιας δράσης. Ένα σενάριο υποθέτει ότι η ΕΕ υιοθετεί μονομερώς φιλόδοξη κλιματική δράση από το 2015 και έπειτα, ενώ οι περιοχές εκτός ΕΕ αδυνατούν να ακολουθήσουν το παράδειγμά της μέχρι το 2050. Αντίθετα, ένα εναλλακτικό σενάριο υποθέτει ότι τόσο η ΕΕ όσο και ο υπόλοιπος κόσμος υιοθετούν από κοινού ισχυρές πολιτικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, σύμφωνα με τον παγκόσμιο στόχο για μετριασμό της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στα 450 ppm κατά την περίοδο μετά το 2030. Σε ένα τρίτο σενάριο, η ΕΕ αναλαμβάνει έγκαιρη κλιματική δράση από το 2015, ενώ ο υπόλοιπος κόσμος λαμβάνει μέρος στις προσπάθειες αυτές την περίοδο μετά το 2030. Χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν εξετάζοντας τις αποκλίσεις των εναλλακτικών σεναρίων από το σενάριο αναφοράς.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου εξελίσσεται ως εξής: αρχικά γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου εστιάζοντας σε μελέτες για την κλιματική αλλαγή. Έπειτα ακολουθεί η παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου των εναλλακτικών σεναρίων που προσομοιώνονται. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σενάριο αναφοράς, ακολουθούν τα αποτελέσματα για τα εναλλακτικά σενάρια που προσομοιώνονται με το μοντέλο GEME3-RD. Τέλος το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα.

9.2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου προσδιορίζονται ως τα οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν οι επιχειρήσεις εισάγοντας ένα νέο προϊόν, υπηρεσία, ή νέα τεχνολογία στην αγορά, αποκτώντας μερίδιο σε μια αναδυόμενη αγορά. Η

τεχνολογική πρωτοπορία προκύπτει ως το πλεονέκτημα αυτού που πρώτος επενδύει σε νέες τεχνολογίες, αναλαμβάνοντας τον σχετικό κίνδυνο (Lieberman and Montgomery 1988). Η τεχνολογική πρωτοπορία παρέχει πλεονεκτήματα που συνδέονται με την καμπύλη "εκμάθησης" ή "εμπειρίας" (K. Arrow 1962), σύμφωνα με το οποίο το κόστος μειώνεται ή αυξάνεται η ποιότητα του αγαθού, ως συνάρτηση της σωρευτικής παραγωγής και διάδοσης της γνώσης των νέων τεχνολογιών μέσω των επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη. Τα οφέλη του πρωτοπόρου εξαρτώνται από τη δυνατότητα διατήρησης ιδιοκτησίας της καινοτομίας και της εξ αυτής κατάκτησης μεγαλύτερου μεριδίου στην αγορά (Spence 1981). Ο ρυθμός διάχυσης της καινοτομίας επηρεάζει αρνητικά την κερδοφορία του πρωτοπόρου (Ghemawat and Spence 1985), ενώ ο έλεγχος της διάχυσης των πατεντών παρέχει δυνατότητα ισχύος στην αγορά (Gilbert and Newbery 1982).

Οι χώρες που πρώτες επιτυγχάνουν καινοτομία, μπορεί να αποκτήσουν προβάδισμα στην αγορά όπου επικρατεί η καινοτομία, και οι επιχειρήσεις της μπορούν να αναπτυχθούν και να αποκτήσουν πλεονεκτήματα κόστους και ποιότητας. Η επιτυχία στην τεχνολογική καινοτομία μίας χώρας έχει συνδεθεί με πολλούς παράγοντες, όπως η εμπειρία στην παραγωγή τεχνολογίας, στην ανάπτυξη και στη χρήση, ο συντονισμός δημόσιας και ιδιωτικής E&A και ο βαθμός ολοκλήρωσης της βιομηχανίας που επιτρέπει τη διάχυσή της μεταξύ τομέων, επιχειρήσεων και κλάδων (Leon Clarke, Weyant, and Edmonds 2008; Fisher et al. 2007; Marcucci and Turton 2015).

Σε μελέτες για την κλιματική αλλαγή, η ενσωμάτωση της τεχνολογικής προόδου θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα της ανάλυσης των σχετικών πολιτικών (Gillingham, Newell, and Pizer 2008). Η εξωγενής εκτίμηση της τεχνολογικής προόδου είναι όμως μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος. Πρόσφατες έρευνες επιδιώκουν την ενδογενή αναπαράσταση της τεχνολογικής προόδου. Το να γίνει η τεχνολογική πρόοδος ενδογενής, προϋποθέτει την ενσωμάτωση ενός μηχανισμού ανάδρασης, μέσω του οποίου η πολιτική επηρεάζει την κατεύθυνση και πιθανώς το επίπεδο της τεχνολογικής προόδου προς την κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις της ενδογενούς ενσωμάτωσης της τεχνολογικής προόδου, με πιο διαδεδομένη αυτή των καμπυλών μάθησης μέσα από την Έρευνα και την πράξη (Weyant and Olavson 1999).

9.3. Θεωρητικό πλαίσιο των εναλλακτικών σεναρίων που προσομοιώνονται

Για την ποσοτικοποίηση εναλλακτικών σεναρίων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GEME3-RD, προκειμένου να διαπιστωθεί κάτω από ποιες συνθήκες η ΕΕ μπορεί να έχει τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου στο πλαίσιο της ασύμμετρης παγκόσμιας πολιτικής για το κλίμα. Σε όλα τα σενάρια υποθέτουμε, πως όλες οι τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών και οι επιλογές για βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας καθώς και ανάπτυξης εναλλακτικών καυσίμων είναι τεχνικά διαθέσιμες.

Ο βέλτιστος συνδυασμός ΑΠΕ, CCS, βιοκαυσίμων, πυρηνικής ενέργειας, εξηλεκτρισμού της ενεργειακής ζήτησης και βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης σε τελικές ενεργειακές χρήσεις προκύπτει ενδογενώς ως αποτέλεσμα της πολιτικής για το κλίμα, η οποία λαμβάνει τη μορφή τιμολόγησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Το σενάριο αναφοράς υποθέτει την συνέχιση των ασύμμετρων πολιτικών για μετριασμό της κλιματικής πολιτικής που οφείλονται σε στασιμότητα στις διεθνείς διαπραγματεύσεις για την κλιματική πολιτική. Στο σενάριο αναφοράς οι μεγαλύτερες οικονομίες που εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου περιορίζονται από τις δεσμεύσεις στο πλαίσιο των συνόδων Κοπεγχάγης και Κανκούν, οι οποίες αφορούν το διάστημα μόνο μέχρι το 2020. Η ΕΕ επιτυγχάνει τους στόχους του 2020 (20% μείωση εκπομπών και 20% ΑΠΕ) και εφαρμόζει τον μηχανισμό εμπορίας EU ETS μέχρι το 2050 με γραμμικά μειούμενο αριθμό αδειών κάθε χρόνο. Το σενάριο αυτό είναι συμβατό με το σενάριο αναφοράς της ΕΕ ().

Στο σενάριο «**Μόνο η ΕΕ**», μόνο η ΕΕ ακολουθεί φιλόδοξη πολιτική μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (εφαρμόζει το Οδικό Χάρτη προς οικονομία χαμηλών εκπομπών μέχρι το 2050) καθώς απουσιάζει μία διεθνής συμφωνία για την κλιματική δράση.

Στο σενάριο «**Όλοι μετά το 2030**», η ΕΕ περιμένει μέχρι το 2030, όπου όλες οι χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο εφαρμόζουν συντονισμένα πολιτική μείωσης των εκπομπών, όσο χρειάζεται ώστε οι σωρευτικές εκπομπές μέχρι το 2050 να οδηγήσουν σε συγκέντρωση αερίων που δεν υπερβαίνουν το επίπεδο των 450 ppm ισοδύναμου CO₂. Για να επιτευχθεί αυτή η σταθεροποίηση σε όρους συγκέντρωσης είναι απαραίτητο η σωρευτική εκπομπή CO₂ να μην υπερβαίνει τα 1300 GtCO₂ (δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα) κατά την περίοδο 2000 με 2050 σε παγκόσμια κλίμακα. Για την επίτευξη της μη υπέρβασης των σωρευτικών εκπομπών (1300 GtCO₂) πρέπει όλες οι χώρες να κάνουν σημαντική προσπάθεια για τον μετασχηματισμό του ενεργειακού τους συστήματος σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα 20 ετών (2030-2050), ώστε να μην υπερβούν σωρευτικά εκπομπές 370 GtCO₂ στο χρονικό αυτό διάστημα.

Στο σενάριο «**ΕΕ-πρωτοπόρος**», η ΕΕ εφαρμόζει από τώρα και μέχρι το 2050 τη φιλόδοξη πολιτική μείωσης των εκπομπών, όπως στο σενάριο «**Μόνο η ΕΕ**» και

οι υπόλοιπες περιοχές του κόσμου ακολουθούν την φιλόδοξη πολιτική μείωσης εκπομπών μόνο μετά το 2030, όπως στο σενάριο «Όλοι μετά το 2030».

Πίνακας 9-1: Υποθετικά Σενάρια Προβλέψεων με βάση το μοντέλο GEME3-RD

Τίτλος Σεναρίου	Υποθετικά Σενάρια			
	Παγκόσμιος στόχος	Στόχος ΕΕ	Κλιματική πολιτική έως το 2030	Κλιματική Πολιτική 2030-2050
Σενάριο Αναφοράς	<ul style="list-style-type: none"> • Ασύμμετρες πολιτικές κατά χώρα • Οι μείζονες οικονομίες εφαρμόζουν τις δεσμεύσεις Κοπεγχάγης και Κανκούν έως το 2020 • Η ΕΕ εφαρμόζει την πολιτική 20-20-20 μέχρι το 2020 και διατηρεί το EU ETS μέχρι το 2050 			
Σενάριο «Μόνο η ΕΕ»	Κανένας	Οδικός Χάρτης χαμηλών εκπομπών της ΕΕ μέχρι το 2050	-Οδικός Χάρτης ΕΕ 2050 -Σενάριο Αναφοράς για τις λοιπές περιφερειακές πολιτικές	
Σενάριο «Όλοι μετά το 2030»	Περιορισμός σε συγκέντρωση 450 ppm αερίων θερμοκηπίου το 2050		-Πολιτικές Σεναρίου Αναφοράς	- Οδικός Χάρτης ΕΕ 2050 Υπόλοιπες περιοχές 450 ppm
Σενάριο «Η ΕΕ πρωτοπόρος»			-Οδικός Χάρτης ΕΕ 2050 -Υπόλοιπες περιοχές Πολιτικές Σεναρίου Αναφοράς	-Οδικός Χάρτης ΕΕ 2050 - Υπόλοιπες περιοχές 450 ppm

9.4. Αποτελέσματα προβλέψεων με τη χρήση του μοντέλου GEME3-RD

9.4.1. Σενάριο αναφοράς

Το σενάριο αναφοράς που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μελέτης των επιπτώσεων της πρωτοπόρου δράσης της Ευρώπης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ως προς τα βασικά του μακροοικονομικά χαρακτηριστικά είναι το ίδιο με αυτό που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 8.2.

Το μείγμα παραγωγής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς χαρακτηρίζεται από τη μείωση του μεριδίου των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επέκταση της πυρηνικής ενέργειας είναι περιορισμένη στις οικονομίες του ΟΟΣΑ. Αυτό αντικατοπτρίζει υποθέσεις σχετικά με το σχεδιασμό του σεναρίου αναφοράς που σχετίζονται με τις κοινώς αποδεκτές ανησυχίες, τις πολιτικές κατάργησης της πυρηνικής ενέργειας που ήδη εφαρμόζονται (ιδίως στα κράτη μέλη της ΕΕ) και την αύξηση των επενδυτικών δαπανών μετά από το δυστύχημα της Φουκουσίμα. Η πυρηνική ενέργεια διευρύνεται σημαντικά στην Κίνα και στις λιγότερο αναπτυγμένες οικονομίες. Οι πολιτικές για το κλίμα που επιφέρουν βελτιώσεις στα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των ΑΠΕ, σε βαθμό που στο σενάριο αναφοράς, αυξάνουν την ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ σε όλες τις περιοχές του μοντέλου.

Το σενάριο αναφοράς δεν παρέχει ισχυρά κίνητρα για την ηλεκτροδότηση των μεταφορών, η οποία εξαρτάται από τις τεχνικές και οικονομικές βελτιώσεις των

μπαταριών και την ανάπτυξη της υποδομής για την επαναφόρτιση τους. Ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων προκύπτει μόνο μετά το 2035. Η υψηλότερη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην περιοχή της ΕΕ σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο, σε συνδυασμό με το συγκριτικό της πλεονέκτημα στην παραγωγή οχημάτων, συνεπάγεται ότι η Ευρώπη είναι ιδιαίτερα έτοιμη να επωφεληθεί από την πρώιμη έναρξη της κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πολιτικές για την προώθηση των βιοκαυσίμων δεν εντείνονται στην ΕΕ μετά το 2020, και κατά συνέπεια το μερίδιο της περιοχής της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων μειώνεται μακροπρόθεσμα. Στη Βόρεια Αμερική και στη Βραζιλία, η υψηλή χρήση των βιοκαυσίμων αναμένεται ακόμα και πέρα από το 2020 ως απάντηση στην αύξηση των τιμών του πετρελαίου και στις πολιτικές που είναι προσανατολισμένες στην γεωργία. Η Βόρεια Αμερική και η Βραζιλία αναμένεται να αποτελούν τις σημαντικότερες περιοχές παραγωγής βιοκαυσίμων έως το 2050.

9.4.2. Ένταση της κλιματικής πολιτικής στα εναλλακτικά σενάρια

Το μοντέλο διαθέτει μηχανισμούς υποκατάστασης των ορυκτών καυσίμων και ενδογενούς ανάπτυξης νέων ενεργειακών τεχνολογιών και καθαρών καυσίμων ώστε να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ με βέλτιστο τρόπο ανάλογα με τον στόχο μείωσης εκπομπών κάθε χώρας ή ομάδας χωρών. Σε κάθε εναλλακτικό σενάριο, ο στόχος μείωσης εκπομπών είναι δεδομένος και το μοντέλο υπολογίζει το ύψος της απαιτούμενης τιμολόγησης των εκπομπών σε κάθε χώρα, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι στο πλαίσιο διατήρησης της γενικής οικονομικής ισορροπίας. Στην περίπτωση συλλογικών στόχων από ομάδα χωρών, το μοντέλο υπολογίζει το ίδιο ύψος τιμολόγησης των εκπομπών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όσο μειώνονται οι εκπομπές τόσο αυξάνει το ύψος της τιμολόγησης των εκπομπών αφού το οριακό κόστος μείωσης βαίνει αυξανόμενο.

Πίνακας 9-2: Τιμολόγηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα εναλλακτικά σενάρια, σύμφωνα με το μοντέλο GEME3-RD

Σε Ευρώ (του 2010) ανά τόνο ισοδύναμου CO ₂	ΕΕ			Λοιπές χώρες		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Σενάριο Αναφοράς	21.0	37.0	70.2	5.5	9.3	39.2
«Μόνο η ΕΕ»	24.9	56.8	286.5	5.5	9.3	39.1
«Όλοι μετά το 2030»	21.0	40.0	518.6	5.5	10.1	425.2
«Η ΕΕ Πρωτοπόρος»	24.9	57.4	294.5	5.5	10.2	422.7

Προκύπτει σαφώς ότι όταν η μείωση των εκπομπών περιορίζεται στο χρονικό διάστημα 2030-2050 αντί να ξεκινήσει από το 2020, το ύψος της τιμολόγησης των εκπομπών αυξάνει σημαντικά. Αυτό συμβαίνει στις χώρες εκτός ΕΕ στα σενάρια «Όλοι μετά το 2030» και «Η ΕΕ Πρωτοπόρος» και για την ΕΕ στο σενάριο «Μόνο η ΕΕ». Γίνεται η υπόθεση ότι οι πληρωμές για τις εκπομπές αποτελούν έσοδα του Κράτους και ανακυκλώνονται στην οικονομία μέσω της δημοσιονομικής πολιτικής.

9.4.3. Οι μακροοικονομικές επιπτώσεις

Η τιμολόγηση των εκπομπών αυξάνει το κόστος χρήσης ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα αυτά να υποκαθίστανται από κεφάλαιο, εργασία και μη ενεργειακά αγαθά σε όλους τους τομείς της οικονομίας. Προκειμένου να γίνει εφικτή η υποκατάσταση αυτή απαιτείται νέος εξοπλισμός, είναι δηλαδή εντάσεως κεφαλαίου. Γενικά, η μέση τιμή των ενεργειακών υπηρεσιών (ωφέλιμη ενέργεια) αυξάνει στα εναλλακτικά σενάρια συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς. Η αύξηση αυτή του κόστους πυροδοτεί επενδύσεις που επιτρέπουν βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή βελτίωση της παραγωγικότητας της ενέργειας, τόσο στις επιχειρήσεις όσο και στα νοικοκυριά. Τέλος, η αύξηση της ζήτησης για εξοπλισμό καθαρής ενέργειας καθώς και εξοπλισμό βελτίωσης αποδοτικότητας κινητοποιεί επενδύσεις σε Ε&Α, οι οποίες με τη σειρά τους μειώνουν μακροχρόνια το κόστος των τεχνολογιών αυτών, όσο αυτές διαδίδονται στην αγορά. Η τεχνολογική πρόοδος που προκύπτει μετριάζει ή και εξαλείφει μακροχρόνια την αύξηση του κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς.

Κατά συνέπεια, τα ορυκτά καύσιμα αντικαθίστανται από εξοπλισμό και άλλα υλικά και υπηρεσίες που σε μεγάλο βαθμό παράγονται εγχωρίως, στο βαθμό που η χώρα διαθέτει ανταγωνιστικό παραγωγικό δυναμικό. Στις χώρες που εισάγουν ορυκτά καύσιμα, όπως η ΕΕ, η εγχώρια δραστηριότητα τείνει να αυξηθεί ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης. Από την άλλη πλευρά, οι χώρες που εξαγουν ορυκτά καύσιμα αντιμετωπίζουν πρόβλημα λόγω μείωσης των εσόδων από τις εξαγωγές.

Η αύξηση του μέσου κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών (σε όρους ετησίου ισοδύναμου κόστους, δεδομένου ότι οι ενεργειακές χρήσεις είναι κυρίως εντάσεων κεφαλαίου) οδηγεί σε μείωση δαπανών των νοικοκυριών και επιχειρήσεων σε άλλα αγαθά και υπηρεσίες, συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς. Η συνολική επίπτωση στην οικονομία εξαρτάται από τη σύγκριση των πολλαπλασιαστικών αποτελεσμάτων της αύξησης της εγχώριας δραστηριότητας λόγω υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων (θετικό αποτέλεσμα) και αυτών της

μείωσης των δαπανών σε αγαθά και υπηρεσίες (αρνητικό αποτέλεσμα) λόγω της αύξησης του μέσου κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών.

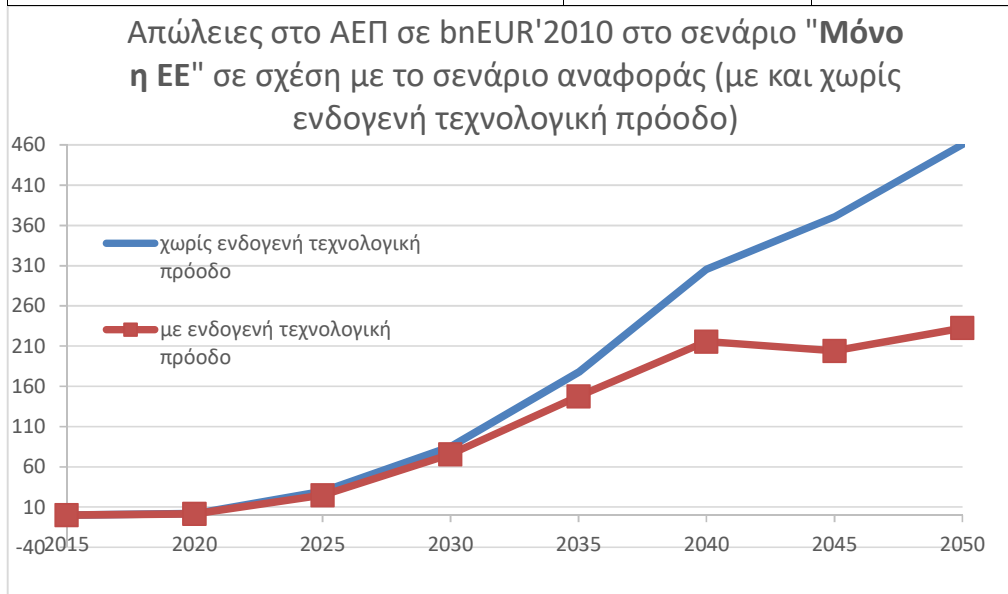
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, βραχυπρόθεσμα καθώς και μεσοπρόθεσμα, η καθαρή επίπτωση είναι γενικά αρνητική, σε όρους ΑΕΠ, ωστόσο ποικίλλει ανά τομέα δραστηριότητας. Μακροπρόθεσμα όμως, η αύξηση της παραγωγικότητας και η μείωση κόστους που οφείλονται στην υψηλότερη E&A μετριάξει την επίδραση του κόστους και κατά συνέπεια το καθαρό αποτέλεσμα για το ΑΕΠ μπορεί να είναι ακόμα και θετικό υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Οι αρνητικές επιπτώσεις λόγω υψηλού κόστους είναι πιο έντονες σε χώρες με μεγάλη ένταση εκπομπών της ενέργειας. Οι χώρες με ισχυρή βιομηχανία και μεγάλο μέγεθος (που μπορούν να επωφεληθούν από οικονομίες κλίμακας στις ενεργειακές τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα) έχουν γενικά προϋποθέσεις αύξησης της εγχώριας δραστηριότητας και εκμετάλλευσης των ωφελειών από την E&A, και επομένως έχουν μειωμένες αρνητικές επιπτώσεις ή και καθαρό όφελος στο ΑΕΠ. Οι χώρες που εξαγωγή ορυκτά καύσιμα, καθώς και αυτές που δεν διαθέτουν ισχυρή εγχώρια βιομηχανική δραστηριότητα, υφίστανται αρνητικές επιπτώσεις στο ΑΕΠ σε κάθε περίπτωση.

Στην περίπτωση ασύμμετρων πολιτικών για το κλίμα μεταξύ χωρών, σημαντική επίδραση στο ΑΕΠ έχει η μεταβολή της σχετικής ανταγωνιστικότητας των χωρών στο διεθνές εμπόριο. Για παράδειγμα, στο σενάριο «**Μόνη η ΕΕ**» οι τιμές των προϊόντων που παράγονται στην ΕΕ αυξάνονται συγκριτικά με τις άλλες χώρες λόγω της αύξησης του μέσου κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών. Ως αποτέλεσμα, η ανταγωνιστικότητα των χωρών της ΕΕ μειώνεται, με αποτέλεσμα οι εξαγωγές της να τείνουν να μειωθούν και οι εισαγωγές να αυξηθούν. Παράλληλα όμως μειώνονται σημαντικά οι εισαγωγές ορυκτών καυσίμων λόγω της μείωσης των εκπομπών. Συνολικά, η επίπτωση στο ΑΕΠ ευρίσκεται να είναι αρνητική για την ΕΕ σε βραχυ-μεσοχρόνιο ορίζοντα. Μακροχρόνια, η επίπτωση στην ΕΕ μετριάζεται λόγω της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου. Η μείωση της ανταγωνιστικότητας δεν αποτελεί την κύρια αιτία μείωσης του ΑΕΠ συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς. Η κύρια αιτία παραμένει η μείωση της ιδιωτικής κατανάλωσης των νοικοκυριών λόγω του αυξημένου κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών, την επίδραση του οποίου στο ΑΕΠ δεν καταφέρνει να αντισταθμίσει η αύξηση των επενδύσεων. Όμως, παρά την αρνητική επίδραση στο ΑΕΠ, η απασχόληση αυξάνεται ελαφρά λόγω της αύξησης της ζήτησης για εγχωρίως παραγόμενα αγαθά. Η επίπτωση στην οικονομία των υπόλοιπων χωρών είναι πολύ μικρή και οφείλεται μόνο στις μεταβολές στο διεθνές εμπόριο.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου στο μοντέλο. Στο πλαίσιο του σεναρίου «**Μόνο η ΕΕ**», η παράλειψη αυτού του μηχανισμού θα είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερες απώλειες στο ΑΕΠ της ΕΕ, ύψους 2900 δις ευρώ σωρευτικά έως το 2050. Στην περίπτωση αυτή, οι απώλειες του ΑΕΠ αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, λόγω της αυξανόμενης αυστηρότητας στην περικοπή των εκπομπών, γιατί αυτό απαιτείται για τον στόχο της σταθεροποίησης του κλίματος. Συμπερασματικά, γίνεται σαφές, ότι η ενδογενής τεχνολογική πρόοδος μετριάζει το κόστος και έχει αναπτυξιακά οφέλη, τα οποία αντισταθμίζουν εν μέρει τις απώλειες ανταγωνιστικότητας. Το αναπτυξιακό όφελος δεν προκύπτει στο σενάριο αυτό από τυχόν εξαγωγές προηγμένων τεχνολογιών από την ΕΕ προς άλλες χώρες, αλλά εγχωρίως στην ΕΕ.

Πίνακας 9-3: Μακροοικονομικές επιπτώσεις στο σενάριο «Μόνο η ΕΕ»

Σωρευτική μεταβολή του ΑΕΠ σε % μεταξύ 2010-2050	ΕΕ	Εκτός ΕΕ
ΑΕΠ	-0.6	-0.02
Επενδύσεις	0.9	0.0
Ιδιωτική Κατανάλωση	-1.3	0.0
Εξαγωγές	0.5	0.4
Εισαγωγές	0.5	0.8
Απασχόληση	0.01	0.03



Σχήμα 9-1: Ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με τη σημασία της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου στο σενάριο «Μόνο η ΕΕ»

Στο σενάριο «Όλοι μετά το 2030» οι απώλειες του παγκόσμιου ΑΕΠ συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς είναι σημαντικές, κυρίως επειδή η μείωση των εκπομπών και ο ριζικός μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος πρέπει να επιτευχθεί στο σύντομο χρονικό διάστημα 2030-2050. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο κόστος για τις ενεργειακές υπηρεσίες και ωρίμανση των νέων τεχνολογιών σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με την περίπτωση όπου ισόποση μείωση των εκπομπών λάμβανε χώρα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στο σενάριο αυτό, επειδή λαμβάνουν όλοι μαζί δράση, τα κόστη παραγωγής των χωρών κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, συνεπώς δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα οφέλη/κόστη σε όρους ανταγωνιστικότητας, αφού οι σχετικές τιμές παραμένουν λίγο πολύ ίδιες, η οποία διαφοροποίηση έγκειται στην διαφορετική δυνατότητα μετασχηματισμού τις κάθε οικονομίας, συνεπώς, οι επιπτώσεις στο διεθνές εμπόριο είναι περιορισμένες. Είναι αξιοσημείωτο ότι, παρά το γεγονός ότι δεν παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή στην ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής οικονομίας, σε αυτό το σενάριο καταγράφεται μεγαλύτερη μείωση στο ΑΕΠ συγκριτικά με το σενάριο «Μόνο η ΕΕ». Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από τη διάχυση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής δράσης μέσω του διεθνούς εμπορίου στην Ευρωπαϊκή ήπειρο.

Πίνακας 9-4: Μακροοικονομικές επιπτώσεις στα σενάρια «Όλοι μετά το 2030» και «Η ΕΕ Πρωτοπόρος»

2010-2050 συσσωρευτική μεταβολή σε %	ΑΕΠ	Επενδύσεις	Ιδιωτική Κατανάλωση	Απασχόληση	Καθαρές εξαγωγές, μεταβολή σε τρις. Ευρώ, 2005
Σενάριο «Όλοι μετά το 2030»					
<i>Παγκόσμια Οικονομία</i>	-1.6	1.8	-3.1	-0.6	0.00
ΕΕ	-0.7	0.4	-1.7	-0.2	1.91
Βόρεια Αμερική	-0.9	0.9	-1.6	-0.3	0.62
ΟΟΣΑ Ειρηνικός	-0.7	0.3	-1.4	-0.2	0.39
Κίνα	-1.1	4.2	-4.7	-0.3	1.81
Εξαγωγείς ενέργειας	-4.7	4.8	-6.2	-0.8	-5.17
Υπόλοιπος κόσμος	-3.0	1.3	-4.8	-0.7	-0.98
Σενάριο «Η ΕΕ Πρωτοπόρος»					
<i>Παγκόσμια Οικονομία</i>	-1.5	1.9	-3.0	-0.5	0.00
ΕΕ	-0.2	0.9	-1.3	0.1	3.21
Βόρεια Αμερική	-0.9	0.9	-1.6	-0.3	0.37
ΟΟΣΑ Ειρηνικός	-0.7	0.3	-1.4	-0.2	0.27
Κίνα	-1.2	4.3	-4.7	-0.3	1.25
Εξαγωγείς ενέργειας	-4.7	4.8	-6.2	-0.8	-5.19
Υπόλοιπος κόσμος	-3.0	1.3	-4.7	-0.7	-1.19

Στο σενάριο «Η ΕΕ Πρωτοπόρος», η ΕΕ υφίσταται τις μικρότερες απώλειες ΑΕΠ συγκριτικά με όλα τα σενάρια μείωσης των εκπομπών. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε και από σειρά αναλύσεων ευαισθησίας που έγιναν με τη χρήση του μοντέλου. Αυτό οφείλεται στη ταχύτερη και αποτελεσματικότερη ωρίμανση των νέων τεχνολογιών στην ΕΕ συγκριτικά με τις άλλες χώρες, πράγμα που προσδίδει πλεονεκτήματα για την ΕΕ στο πλαίσιο του διεθνούς εμπορίου, ιδιαίτερα κατά την

περίοδο μετά το 2030, όπου οι υπόλοιπες χώρες πραγματοποιούν καθυστερημένα τη δραστική μείωση εκπομπών και αυξάνεται ραγδαία η παγκόσμια ζήτηση για προηγμένες καθαρές τεχνολογίες. Σε αυτό ακριβώς συνίσταται το πλεονέκτημα του πρωτοπόρου το οποίο επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου για την ΕΕ. Στο πλαίσιο του σεναρίου «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**», η ΕΕ ωφελείται αναπτυξιακά από τις αυξημένες εξαγωγές, το μετριασμό του κόστους προσαρμογής σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών (αερίων του θερμοκηπίου) λόγω της ωρίμανσης των νέων τεχνολογιών πιο αποτελεσματικά από ό,τι στις άλλες χώρες και τελικά ωφελείται και σχετικά με την απασχόληση.

Τα αποτελέσματα με τη χρήση του μοντέλου δείχνουν με σαφήνεια ότι, αν η ΕΕ ακολουθήσει τη φιλόδοξη πολιτική δραστικής μείωσης των εκπομπών από τώρα αδιαφορώντας για το εάν ο υπόλοιπος κόσμος θα ακολουθήσει, τότε ή θα ακολουθήσει τη διαδρομή «**Μόνο η ΕΕ**» ή τη διαδρομή «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**». Τα αποτελέσματα του μοντέλου υποδεικνύουν ότι και οι δύο διαδρομές είναι πιο συμφέρουσες αναπτυξιακά από την αναμονή μέχρι το 2030 και το συντονισμό με τον λοιπό κόσμο ώστε από κοινού να εφαρμοσθεί η φιλόδοξη πολιτική μείωσης των εκπομπών μόνο μετά το 2030. Αυτή η τελευταία διαδρομή, δηλαδή το σενάριο «**Όλοι μετά το 2030**», είναι υποδεέστερη αναπτυξιακά κάθε άλλης επιλογής της ΕΕ.

9.4.4. Επιπτώσεις σε τομείς παραγωγής καθαρής ενέργειας

Ο σημαντικός αναπτυξιακός ρόλος των νέων τεχνολογιών και καυσίμων επιβεβαιώνεται στο πλαίσιο του σεναρίου «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**». Η μεταβολή της προστιθέμενης αξίας στην παραγωγή καθαρών τεχνολογιών και καυσίμων συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς είναι μεγαλύτερη για την ΕΕ στο σενάριο «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**» από όλα τα άλλα σενάρια μείωσης εκπομπών. Μάλιστα, το ίδιο παρατηρείται και στους υπόλοιπους τομείς της οικονομίας λόγω της θετικής πολλαπλασιαστικής επίδρασης του τομέα των καθαρών τεχνολογιών.

Πίνακας 9-5: Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία ανά τομέα για την ΕΕ

Συσσωρευτική μεταβολή 2010-2050 σε %, συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς	«Μόνο η ΕΕ»	«Όλοι μαζί μετά το 2030»	«Η ΕΕ Πρωτοπόρος»
ΑΕΠ	-0.6	-0.7	-0.2
Τομείς παραγωγής καθαρών τεχνολογιών και καυσίμων	0.4	0.5	0.7
Υπόλοιποι τομείς παραγωγής	-1.0	-1.3	-0.9

Το αναπτυξιακά οφέλη του σεναρίου «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**» δεν θα μπορούσε να επιβεβαιωθεί αν το μοντέλο δεν διέθετε τον μηχανισμό της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου. Στο πλαίσιο αυτό, η ΕΕ επωφελείται από τις αυξημένες επενδύσεις σε Ε&Α το χρονικό διάστημα μέχρι το 2030 (συγκριτικά με τις άλλες χώρες οι οποίες καθυστερούν). Το επαρκές μέγεθος της εσωτερικής αγοράς της ΕΕ σε συνδυασμό με την καθυστερημένη δράση των υπολοίπων χωρών επιτρέπει την ωρίμανση και την μείωση του κόστους των νέων τεχνολογιών εντός της ΕΕ,

δεδομένου ότι ΕΕ διαθέτει εκείνο το κρίσιμο μέγεθος αγοράς που της επιτρέπει να αναπτύξει σχετικά γρήγορα νέες τεχνολογίες (επειδή υπάρχουν οικονομίες κλίμακας), σε συνδυασμό ότι με το γεγονός ότι οι υπόλοιπες χώρες λόγω καθυστερημένης δράσης δεν ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη νέων καθαρών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, (συνεπώς προστατεύονται από τον ανταγωνισμό), δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος της ΕΕ στις συγκεκριμένες τεχνολογίες. Ως εκ τούτου, η ΕΕ ευρίσκεται σε πλεονεκτική θέση το 2030 ώστε να κερδίσει μερίδιο αγοράς, όταν στον υπόλοιπο κόσμο οι παγκόσμιες αγορές για τεχνολογίες καθαρής ενέργειας αρχίζουν να μεγεθύνονται με ταχείς ρυθμούς, δηλαδή μετά το 2030. Σε αυτό έγκεινται τα πλεονεκτήματα της πρώτης κίνησης (first mover advantage) τα οποία επιβεβαιώνονται από τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Πίνακας 9-6: Μερίδιο της παραγωγής στην ΕΕ στην παγκόσμια σωρευτική παραγωγή μέχρι το 2050

Τεχνολογίες	Σωρευτικά στο διάστημα 2010-2050	Σενάριο Αναφοράς	«Μόνο η ΕΕ»	«Όλοι μαζί μετά το 2030»	«Η ΕΕ Πρωτοπόρος»
Φωτοβολταϊκά	% μερίδιο την παγκόσμια παραγωγή	13%	18%	8%	8%
	Εξαγωγές σε τρισ. Ευρώ	0.59	0.94	0.67	0.82
Ηλεκτρικά οχήματα	% μερίδιο την παγκόσμια παραγωγή	33%	65%	35%	36%
	Εξαγωγές σε τρισ. Ευρώ	0.84	1.83	5.82	6.05
Ανεμογεννήτριες	% μερίδιο την παγκόσμια παραγωγή	34%	41%	26%	31%
	Εξαγωγές σε τρισ. Ευρώ	1.06	1.31	1.24	1.59
Προηγμένες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής (και CCS)	% μερίδιο την παγκόσμια παραγωγή	47%	70%	34%	50%
	Εξαγωγές σε τρισ. Ευρώ	1.16	1.77	1.95	3.17
Συσκευές προηγμένης τεχνολογίας	% μερίδιο την παγκόσμια παραγωγή	34%	37%	35%	36%
	Εξαγωγές σε τρισ. Ευρώ	0.75	0.74	0.69	0.68
% μερίδιο των εξαγωγών καθαρής τεχνολογίας στο σύνολο των εξαγωγών της ΕΕ		4.8%	7.1%	11.2%	13.1%

Το πλεονέκτημα της πρώτης κίνησης για την ΕΕ επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα σχετικά με το μερίδιο της ΕΕ στην παγκόσμια παραγωγή νέων καθαρών τεχνολογιών. Το μερίδιο αυτό είναι συστηματικά μεγαλύτερο στο σενάριο «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**» συγκριτικά με το σενάριο «**Όλοι μαζί μετά το 2030**». Η έγκαιρη υιοθέτηση πολιτικών μείωσης των εκπομπών στην ΕΕ είναι ευεργετική για τις εξαγωγές τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, όπως επίσης φαίνεται στα αποτελέσματα για το σενάριο «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**». Η πρωτοπόρος δράση της ΕΕ για το κλίμα συνεπάγεται ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην παραγωγή των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, η οποία σε συνδυασμό με την ταχέως αναπτυσσόμενη ζήτηση καθαρής ενέργειας εκτός της ΕΕ, οδηγεί σε σημαντικά υψηλότερες εξαγωγές των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας σε περιοχές εκτός της

ΕΕ. Στο σενάριο «**Μόνο η ΕΕ**», η ΕΕ έχει υψηλά μερίδια, αλλά ο παγκόσμιος όγκος της παραγωγής καθαρών τεχνολογιών είναι μικρός σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια εξαιτίας της έλλειψης πολιτικής στον υπόλοιπο κόσμο.

9.4.5. Ανάλυση ευαισθησίας

Όπως και στη βιβλιογραφία (Pantelis Capros, Paroussos, and Karkatsoulis 2012), η ανάλυση ευαισθησίας με χρήση του μοντέλου έδειξε ότι το συγκριτικό πλεονέκτημα της ΕΕ που απορρέει από την ανάπτυξη και ωρίμανση των νέων τεχνολογιών, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα διάχυσης της τεχνολογίας στον υπόλοιπο κόσμο.

Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, υπολογίσθηκαν με το μοντέλο GEME3-RD τα αποτελέσματα τεσσάρων παραλλαγών του σεναρίου «**Η ΕΕ Πρωτοπόρος**», τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους σχετικά με τις υποθέσεις για τη διάχυση της τεχνολογίας. Συγκεκριμένα, οι διαφορετικές υποθέσεις σχετικά με την εκμετάλλευση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των καινοτομιών για τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, συνοψίζονται ως εξής:

- «**Δωρεάν**»: Η ΕΕ παρέχει δωρεάν τα δικαιώματα ιδιοκτησίας των καινοτομιών
- «**Καθυστέρηση**»: Η ΕΕ παρέχει τα δικαιώματα ιδιοκτησίας των καινοτομιών μόνο μετά το 2035
- «**Έλεγχος**»: Η ΕΕ περιορίζει τη διάχυση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των καινοτομιών μέχρι και το 2040 και τα παρέχει δωρεάν μετά το 2040
- «**Αυστηρός έλεγχος**»: Η ΕΕ εφαρμόζει αυστηρούς ελέγχους μέχρι το 2050.

Σε παγκόσμιο επίπεδο η μεγιστοποίηση του οφέλους από τη διάχυση των καινοτομιών λαμβάνει χώρα όταν τα δικαιώματα παρέχονται δωρεάν. Παρά τη δωρεάν παροχή, η ΕΕ συνεχίζει να αντλεί σημαντικά οφέλη λόγω της πρωτοπόρας δράσης της. Από τη σκοπιά της ΕΕ, η μεγιστοποίηση του οφέλους επιτυγχάνεται όταν εφαρμόζεται η παραλλαγή «**Έλεγχος**». Αν εφαρμόσει «**Αυστηρό Έλεγχο**» τα οφέλη για την ΕΕ είναι σχετικά μικρότερα.

Αυξάνοντας τον έλεγχο της διάχυσης της τεχνολογίας, η ΕΕ καταφέρνει να πάρει ένα επιπλέον μερίδιο στο εμπόριο της τεχνολογίας καθαρής ενέργειας ιδίως κατά τη διάρκεια μιας δεκαετίας, η οποία συμπίπτει με την έναρξη της φιλόδοξης μείωσης των εκπομπών στον υπόλοιπο κόσμο. Όμως, ο έλεγχος τη διάχυσης δυσκολεύει τη μείωση των εκπομπών στον υπόλοιπο κόσμο, αυξάνει το κόστος μείωσης των εκπομπών στις οικονομίες εκτός ΕΕ και κατά συνέπεια έχει μεγαλύτερες αρνητικές επιπτώσεις στο ΑΕΠ. Σε αυτήν την περίπτωση η ΕΕ υφίσταται αρνητικές επιδράσεις στη δική της παραγωγή λόγω της επιβράδυνσης της ανάπτυξης διεθνώς.

Πίνακας 9-7: Ποσοστιαία (%) διαφορά του σωρευτικού ΑΕΠ σε καθεμία παραλλαγή του σεναρίου «Η ΕΕ Πρωτοπόρος» ως προς το σενάριο «Όλοι μαζί μετά το 2030».

	ΕΕ	Χώρες εκτός ΕΕ	Παγκόσμια Οικονομία
Δωρεάν	0.472	0.014	0.106
Καθυστέρηση	0.481	0.010	0.104
Έλεγχος	0.530	-0.016	0.093
Αυστηρός έλεγχος	0.518	-0.016	0.092

9.5. Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Η ΕΕ, η οποία μέχρι τώρα ήταν η πλέον δραστήρια περιοχή στις πολιτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα σημαντικό δίλημμα: πρέπει μονομερώς να εφαρμόσει το φιλόδοξο πρόγραμμα της για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανεξάρτητα από την στάση του υπόλοιπου κόσμου ή πρέπει να καθυστερήσει τις προσπάθειες έως ότου οι υπόλοιπες χώρες αναλάβουν και αυτές δράση. Η φιλόδοξη δράση της ΕΕ για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής προϋποθέτει την άμεση αναδιάρθρωση του οικονομικού και ενεργειακού συστήματός της στην κατεύθυνση απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (κυρίως πετρέλαιο, άνθρακα και λιγνίτη). Με τον τρόπο αυτό, η διεθνής αντίδραση στις προσπάθειες της ΕΕ για αποτροπή της κλιματικής αλλαγής παραμένει ζωτικής σημασίας. Ο υπόλοιπος κόσμος μπορεί να ακολουθήσει τις προσπάθειες της ΕΕ ή μπορεί να περιμένει να δράσει μετά το 2030. Η παγκόσμια αντίδραση στις προσπάθειες της ΕΕ για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα επηρεάζει σημαντικά τις μακροοικονομικές επιδόσεις της ΕΕ στο πλαίσιο του μετασχηματισμού της οικονομίας της σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου GEME3-RD δείχνουν ότι στην περίπτωση που η ΕΕ δράσει μονομερώς θα υποστεί σε ένα βαθμό αρνητικές συνέπειες για την οικονομία της, ενώ το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής θα παραμένει ανοικτό. Όμως, η τυχόν καθυστέρηση ανάληψης δράσης έως ότου ο υπόλοιπος κόσμος ακολουθήσει οδηγεί σε ακόμα υψηλότερο κόστος για την ΕΕ, λόγω κυρίως του περιορισμένου χρονικού διαστήματος εντός του οποίου πρέπει να πραγματοποιηθεί η μείωση των εκπομπών. Στην περίπτωση κατά την οποία η ΕΕ ξεκινήσει νωρίτερα τη δράση συγκριτικά με τον υπόλοιπο κόσμο, θα αποκομίσει ωφέλειες για την οικονομία της, οι οποίες απορρέουν από την ωρίμανση των νέων τεχνολογιών και υποδομών σε επαρκές χρονικό διάστημα. Όταν ο υπόλοιπος κόσμος αποφασίσει μεταγενέστερα να ακολουθήσει την κλιματική δράση της ΕΕ,

θα αντιμετωπίσει δυσκολίες λόγω του περιορισμένου χρόνου που θα έχει στη διάθεσή του, ενώ η ΕΕ θα έχει αποκτήσει στο μεταξύ χρονικό διάστημα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με τις νέες τεχνολογίες. Στην περίπτωση αυτή, η ΕΕ μπορεί να επωφεληθεί πρώτον από την αύξηση των εξαγωγών των νέων τεχνολογιών, οι οποίες θα είναι ώριμες εξαιτίας της έγκαιρης δράσης της ΕΕ και δεύτερον από το σχετικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εντός του οποίου θα πρέπει να αναδιαρθρώσει το ενεργειακό της σύστημα προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Βεβαίως, αν ο υπόλοιπος κόσμος δεν ακολουθήσει φιλόδοξη κλιματική δράση μέχρι το 2050, τότε θα είναι αναπόφευκτες οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Αλλά και σε αυτήν την περίπτωση, η ΕΕ θα παρουσιάσει εγχωρίως σημαντική αύξηση της δραστηριότητας σε νέες τεχνολογίες και θα σημειώσει αύξηση της απασχόλησης και των επενδύσεων, ενώ οι αρνητικές συνέπειες από τη μειωμένη ανταγωνιστικότητά της (λόγω ασύμμετρων κλιματικών πολιτικών μεταξύ της ΕΕ και των λοιπών χωρών) θα είναι σχετικά μικρές.

Για να προκύψει αυτό το αποτέλεσμα, αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα λεπτομερές, παγκόσμιο μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας και δυναμικής ανάπτυξης, στο οποίο αναπαρίσταται ο μηχανισμός της ενδογενούς ανάπτυξης μέσω της τεχνολογικής προόδου. Επιβεβαιώθηκε ότι χωρίς τον μηχανισμό αυτό, δεν θα μπορούσε να βρεθεί συγκριτικό πλεονέκτημα του τυχόν πρωτοπόρου στην ανάπτυξη των τεχνολογιών που απαιτούνται για δραστηριότητα μείωσης των εκπομπών. Η ενδογενής τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει ακόμα να υπολογισθεί, ότι σε μακροχρόνια προοπτική, η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει τον μετριασμό ή και τη σχεδόν ακύρωση των αρνητικών οικονομικών επιπτώσεων της δραστηρικής μείωσης των εκπομπών λόγω αυξημένου ενεργειακού κόστους.

Σε τομεακό επίπεδο, η έγκαιρη δράση για την απεξάρτηση από το διοξείδιο του άνθρακα θα μπορούσε να ωφελήσει την ΕΕ από την άποψη του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στις διεθνείς αγορές για τις νέες καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες. Τα ισχυρότερα οφέλη για την ΕΕ βρίσκονται στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων, στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στις νέες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ως ένα επιπλέον σημείο εξέτασης, η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να είναι ακόμη ένα ουσιαστικό συστατικό της παγκόσμιας προσπάθειας μετριασμού. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, που αντιμετωπίζει ο τομέας των οδικών μεταφορών, ένας σημαντικός τομέας της προσπάθειας για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Επί του παρόντος, η ΕΕ διαθέτει συγκριτικό πλεονέκτημα στην κατασκευή οχημάτων και έτσι είναι σε θέση να επωφεληθεί από την πρόωμη έναρξη της κατασκευής των

ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, τα οφέλη που σχετίζονται με εξαγωγές της ΕΕ λόγω προηγμένης τεχνολογίας δεν είναι βέβαια, δεδομένου ότι εξαρτώνται σημαντικά από τις υποθέσεις σχετικά με την ταχύτητα διάχυσης της καινοτομίας. Η διάχυση μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη λόγω του παγκόσμιου χαρακτήρα του εμπορίου και των κεφαλαιαγορών, ανεξάρτητα από το αν μια χώρα δρα για το κλίμα ή όχι. Οι αναλύσεις ευαισθησίας με χρήση του μοντέλου επιβεβαίωσαν την εξάρτηση αυτή. Ο τυχόν αυστηρός έλεγχος της διάχυσης της καινοτομίας επιτρέπει οικονομικά οφέλη σε βραχυχρόνια βάση αλλά παράλληλα δυσκολεύει τη μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο γεγονός που έχει αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις και στη χώρα που καινοτομεί.

Η ανάλυση με τη χρήση του μοντέλου GEM-E3-RD επιβεβαιώνει τη σημασία της διατήρησης πρωτοποριακής θέσης στην ανάπτυξη νέων καθαρών τεχνολογιών, ως τη καλύτερη στρατηγική για να μετριασθεί το κόστος της δραστηρικής μείωσης των εκπομπών και να αντισταθμισθούν πιθανές απώλειες ανταγωνιστικότητας. Η διατήρηση της πρωτοποριακής τεχνολογικής θέσης αποτελεί επίσης μια συνετή στρατηγική για αντιστάθμιση της αβεβαιότητας σχετικά με το χρονικό πλαίσιο της ανάληψης δράσης σε παγκόσμιο επίπεδο για σταθεροποίηση του κλίματος. Από τη σκοπιά της ΕΕ τα αποτελέσματα σαφώς συνηγορούν υπέρ της άμεσης μονομερούς δράσης για δραστηρική μείωση των εκπομπών. Η τυχόν καθυστέρηση ανάληψης δράσης από τον υπόλοιπο κόσμο σαφώς προσδίδει ευκαιρία σημαντικών ωφελειών για την ΕΕ ως πρωτοπόρου στην ανάπτυξη και ωρίμανση των νέων τεχνολογιών.

Κεφάλαιο 10

10. Συμπεράσματα – Προοπτικές

10.1. Επιστημονικό Αντικείμενο της διατριβής

Το επιστημονικό αντικείμενο της διατριβής αφορά τον σχεδιασμό και την εμπειρική κατασκευή αναλυτικού μαθηματικού μοντέλου γενικής ισορροπίας με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο με έμφαση στις ενεργειακές τεχνολογίες. Το μοντέλο αναπαριστά αναλυτικά το σύνολο της οικονομίας και τις αλληλεπιδράσεις της με το ενεργειακό σύστημα και το περιβάλλον.

Η παρούσα διατριβή οδήγησε στη δημιουργία μιας σειράς εμπειρικών μοντέλων γενικής ισορροπίας (GEMEZ-RD, GEMEZ-T, GEMEZ-FIN)⁶³. Τα μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν βασίστηκαν στην αρχική έκδοση του μοντέλου GEMEZ, ένα μεγάλης κλίμακας μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας, το οποίο επέκτειναν σε πολλά σημεία. Η εκπόνηση της παρούσας διατριβής οδήγησε σε μια σειρά από δημοσιεύσεις και συμμετοχές σε επιστημονικά συνέδρια, όπως επίσης και σε τεχνικές εκθέσεις στα πλαίσια χρηματοδοτούμενων ερευνητικών προγραμμάτων, οι οποίες είχαν ως αντικείμενο την εφαρμογή του μοντέλου GEMEZ για την μακροχρόνια ενεργειακή-οικονομική ανάλυση. Οι κυριότερες από αυτές αναφέρονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Η κατασκευή ενός υπολογιζόμενου μοντέλου γενικής ισορροπίας απαιτεί το χειρισμό μεγάλου όγκου δεδομένων (συλλογή και επεξεργασία) και μια σειρά τεχνικών μοντελοποίησης, όπως:

- μη γραμμικός προγραμματισμός και θεωρία μεικτής συμπληρωματικότητας,
- αριθμητικές μέθοδοι επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων,
- ποσοτική οικονομική, θεωρία βέλτιστου ελέγχου,
- μέθοδοι σταυροειδούς εντροπίας και προγραμματισμού στόχων,
- στατιστικές μέθοδοι πολλαπλής παλινδρόμησης,
- προγραμματισμός σε γλώσσα GAMS.

Οι επεκτάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούν:

⁶³ Η κατάληξη υποδηλώνει το χαρακτηριστικό του μοντέλου που αναπαρίσταται με λεπτομέρεια (όπου RD είναι με έμφαση στην ενδογενή τεχνολογική πρόοδο, T είναι με έμφαση στις μεταφορές, FIN είναι με έμφαση στους μηχανισμούς χρηματοδότησης).

- Ενσωμάτωση της θεωρίας ενδογενούς τεχνολογικής προόδου στο μοντέλο γενικής ισορροπίας GEME3-RD. Προσδιορισμός της ζήτησης για Έρευνα και Ανάπτυξη στις επιχειρήσεις. Κατασκευή ξεχωριστού τομέα που παρέχει υπηρεσίες Έρευνας και Ανάπτυξης. Διαχωρισμός δημόσιας και ιδιωτικής δαπάνης για Έρευνα και Ανάπτυξη. Ενσωμάτωση μηχανισμών διάχυσης της καινοτομίας στο οικονομικό σύστημα. (Βλέπε κεφάλαιο 4).
- Λεπτομερή αναπαράσταση του ενεργειακού συστήματος. Οι επεκτάσεις αφορούν: 1) τις μεταφορές (επιβατικές μεταφορές με μέσα μαζικής μεταφοράς, επιβατικές μεταφορές μέσω ιδιωτικού οχήματος, εγχώριες μεταφορές εμπορευμάτων, διεθνείς μεταφορές εμπορευμάτων). 2) την κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών (επιβατικές μεταφορές με ιδιωτικό αυτοκίνητο, ψύξη και θέρμανση, και άλλες ηλεκτρικές συσκευές), 3) την αναπαράσταση των βιοκαυσίμων και χρήση της καλλιεργήσιμης γης. (Βλέπε κεφάλαιο 5).
- Επέκταση του κανόνα κλεισίματος του μοντέλου ενσωματώνοντας τον χρηματοπιστωτικό τομέα, χρησιμοποιώντας σαν κανόνα κλεισίματος τον IS-LM. (Βλέπε κεφάλαιο 6).
- Ανάπτυξη επαναληπτικής μεθόδου για επίλυση μεγάλης κλίμακας μη γραμμικών μοντέλων γενικής ισορροπίας (Βλέπε κεφάλαιο 7).
- Βελτίωση των δυναμικών μηχανισμών του μοντέλου και κωδικοποίηση του αλγορίθμου επίλυσης βάσει ορθολογικών προσδοκιών. (Βλέπε κεφάλαιο 7).

10.2. Συμπεράσματα

Εφαρμόζοντας το μοντέλο σε διαφορετικά κάθε φορά σενάρια, προέκυψαν τα συμπεράσματα που ακολουθούν:

Μονομερή δράση της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Μια βασική ανησυχία για τους φορείς χάραξης πολιτικής της ΕΕ είναι η ποσοτικοποίηση των μακροοικονομικών συνεπειών για την ΕΕ, σε περίπτωση που οι φιλόδοξες πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής υιοθετηθούν μονομερώς, χωρίς μια διεθνή συμφωνία. Τα αποτελέσματα του μοντέλου GEME3-RD δείχνουν ότι στην περίπτωση ασύμμετρων πολιτικών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής μεταξύ των χωρών, σημαντική επίδραση στο ΑΕΠ έχει η μεταβολή της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των χωρών στο διεθνές εμπόριο. Αν η ΕΕ δράσει μονομερώς θα υποστεί σε ένα βαθμό αρνητικές συνέπειες για την οικονομία της, ενώ το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής θα παραμείνει ανοικτό. Τα μέτρα της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, όπως είναι η τιμολόγηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η εξοικονόμηση ενέργειας στις

επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά, η νομοθέτηση αυστηρότερων κανονισμών όσον αναφορά τις προδιαγραφές των νέων αυτοκινήτων (CO2 standards) και ηλεκτρικών συσκευών και διάφορα άλλα, έχουν ως αποτέλεσμα:

- Την ταχεία βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε τομείς υψηλής ενεργειακής έντασης, με αύξηση της ζήτησης για εξοπλισμό καθαρής ενέργειας καθώς και εξοπλισμό βελτίωσης της αποδοτικότητας.
- Την ανάπτυξη ΑΠΕ (κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαυσίμων στις μεταφορές).
- Την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ηλεκτρισμό στις μεταφορές και στην κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών.
- Την ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών CCS.
- Την αύξηση των επενδύσεων σε E&A με σκοπό τη βελτίωση της παραγωγικότητας της ενέργειας εξαιτίας της ανόδου του μέσου κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών.
- Την ανταγωνιστικότητα των χωρών της ΕΕ - μειώνεται βραχυχρόνια και μεσοπρόθεσμα, με αποτέλεσμα οι εξαγωγές της να τείνουν να μειωθούν και οι εισαγωγές να αυξηθούν.
- Τα αναπτυξιακά οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή νέων καινοτόμων προϊόντων.
- Την μακροχρόνια αύξηση κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς που μετριάζεται λόγω της ενδογενούς τεχνολογικής προόδου.

Τα αναπτυξιακά οφέλη της ΕΕ ως πρωτοπόρος (first mover advantage) στην πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Στην περίπτωση κατά την οποία η ΕΕ ξεκινήσει νωρίτερα τη δράση συγκριτικά με τον υπόλοιπο κόσμο, θα αποκομίσει ωφέλειες για την οικονομία της, οι οποίες απορρέουν από την ωρίμανση των νέων τεχνολογιών και υποδομών σε επαρκές χρονικό διάστημα. Σε περίπτωση που ο υπόλοιπος κόσμος αποφασίσει μεταγενέστερα να ακολουθήσει την κλιματική δράση της ΕΕ, θα αντιμετωπίσει δυσκολίες λόγω του περιορισμένου χρόνου που θα έχει στη διάθεσή του, ενώ η ΕΕ θα έχει αποκτήσει στο μεταξύ χρονικό διάστημα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με τις νέες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Τα αναπτυξιακά οφέλη της ΕΕ εξαρτώνται από:

- τη διάρκεια της δράσης,
- το μέγεθος της δράσης εκτός ΕΕ που διαμορφώνει τη ζήτηση καινοτόμων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών,

- τα ποσοστά μάθησης των νέων καθαρών τεχνολογιών που προσδιορίζουν το εγχώριο κόστος της πολιτικής,
- τα ποσοστά απόσβεσης της γνώσης και τη διάχυση της τεχνολογίας που προσδιορίζουν τη διάρκεια του first mover advantage.

Ωστόσο, τα οφέλη που σχετίζονται με τις εξαγωγές της ΕΕ λόγω προηγμένης τεχνολογίας παρουσιάζουν μεγάλες αβεβαιότητες. Οι προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες υπάρχει first mover advantage είναι:

- Η ενιαία εσωτερική αγορά στην ΕΕ που επιτρέπει την μάθηση μέσα από την πράξη στις νέες τεχνολογίες.
- Η διεύρυνση της αγοράς νέων τεχνολογιών μέσω της υιοθέτησης πολιτικών μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από χώρες εκτός ΕΕ.
- Το μέγεθος των δευτερογενών επιδράσεων της γνώσης επηρεάζει άμεσα τη διάρκεια διατήρησης του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Στο πλαίσιο της επίτευξης της σταθεροποίησης του κλίματος μέχρι το 2050, η παρούσα διατριβή προτείνει βασισόμενη στα αποτελέσματα του μοντέλου, ότι η ΕΕ έχει συμφέρον να πραγματοποιήσει άμεσες ενέργειες για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, ανεξάρτητα από το αν ο υπόλοιπος κόσμος λάβει τέτοια μέτρα τώρα ή μετά το 2030. Τα οφέλη για την ΕΕ σχετίζονται με το χρονικό πλαίσιο/ορίζοντα μέσα στο οποίο η οικονομία της θα απαλλαγεί από τους υδρογονάνθρακες και με το πλεονέκτημα που μπορεί να κερδίσει από την ανάπτυξη τεχνολογιών καθαρής ενέργειας πριν από τις υπόλοιπες χώρες. Ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα θα επιτρέψει στην οικονομία της ΕΕ να αναλάβει τις αναγκαίες διαρθρωτικές αλλαγές, μετριάζοντας τις απώλειες ανταγωνιστικότητας της οικονομίας της στις διεθνείς αγορές. Λαμβάνοντας καίρια θέση στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, η ΕΕ είναι έτοιμη να καλύψει (ένα μεγάλο μέρος) της μελλοντικής ζήτησης του υπόλοιπου κόσμου για αυτές τις τεχνολογίες.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου GEM3-RD επιβεβαιώνουν τη σημασία της διατήρησης της πρωτοποριακής θέσης στην ανάπτυξη νέων καθαρών τεχνολογιών, ως η καλύτερη στρατηγική για να μετριασθεί το κόστος της δραστηρικής μείωσης των εκπομπών. Η στρατηγική αυτή αποδεικνύεται βέλτιστη για να αντισταθμιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις των ενεργειακών πολιτικών. Επιπρόσθετα, η διατήρηση της πρωτοποριακής τεχνολογικής θέσης αντισταθμίζει την αβεβαιότητα σχετικά με το χρονικό πλαίσιο της ανάληψης δράσης σε παγκόσμιο επίπεδο για σταθεροποίηση του κλίματος. Ειδικότερα, από τη σκοπιά της ΕΕ τα αποτελέσματα συνηγορούν υπέρ της άμεσης μονομερούς δράσης για δραστηρική μείωση των εκπομπών. Ενώ, η τυχόν

καθυστέρηση ανάληψης δράσης από τον υπόλοιπο κόσμο σαφώς προσδίδει ευκαιρία σημαντικών ωφελειών για την ΕΕ ως πρωτοπόρου στην ανάπτυξη και ωρίμανση των νέων τεχνολογιών.

Οι επιπτώσεις πολιτικής από την ποσοτική ανάλυση με το μοντέλο GEMEZ-RD είναι σημαντικές. Η λήψη αποφάσεων θα πρέπει να εξετάζει προσεκτικά τη διεθνή αντίδραση στις προσπάθειες απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα της ΕΕ, κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις κλιματικές και ενεργειακές πολιτικές. Η χάραξη πολιτικής πρέπει, επίσης, να σταθμίζει τα διαχρονικά κόστη και τα οφέλη του να είναι πρωτοπόρος στην ανάπτυξη τεχνολογιών καθαρής ενέργειας και να δίνει προσοχή στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ελέγχων που ασκούνται πάνω στην καινοτομία που γεννιέται στην ΕΕ. Η ΕΕ θα μπορούσε πιθανότατα να επωφεληθεί από τα πλεονεκτήματα του πρωτοπόρου, ωστόσο το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι ανεξάρτητο από τις διεθνείς επιλογές πολιτικής και τις αποφάσεις για τη διαχείριση της καινοτομίας. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εμβαθύνει σε αυτές τις συνθήκες και να προσδιορίσει τις βέλτιστες επιλογές πολιτικής, που θα μπορούσαν να επιτρέψουν καθαρά οφέλη από την πρωτοπορία στις προσπάθειες απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

10.3. Περαιτέρω Έρευνα

Τα σημεία που δεν καλύφθηκαν από την παρούσα διατριβή και τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον και αποτελούν αντικείμενο για μελλοντικές προεκτάσεις είναι:

- Η προέκταση του μοντέλου σε χωρικό υπολογιζόμενο μοντέλο γενικής ισορροπίας (SCGE – Spatial Computable General Equilibrium). Αυτή η επέκταση αυξάνει την ρεαλιστικότητα του μοντέλου με την εισαγωγή πληθώρας γεωγραφικών στοιχείων που επιδρούν: α) στην μετακίνηση του πληθυσμού και του εργατικού δυναμικού από την μία γεωγραφική περιοχή στην άλλη, β) στην καλύτερη αναπαράσταση των κλάδων μεταφορών και γ) στην αναλυτική αναπαράσταση της διαδικασίας της διάχυσης/μεταφοράς της γνώσης (knowledge spillovers).
- Ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον αποτελεί η προέκταση του μοντέλου, έτσι ώστε να υπάρχει ετερογένεια στις αποφάσεις των επιχειρήσεων.
- Επέκταση του χρηματοοικονομικού υπομοντέλου με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις αγορές χρηματοοικονομικών προϊόντων.
- Επέκταση του αλγορίθμου επίλυσης μεγάλης κλίμακας μοντέλων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας χρησιμοποιώντας παράλληλη επεξεργασία.

- Επέκταση του μοντέλου σε στοχαστικό μοντέλο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας.
- Βελτίωση της αναπαράστασης του ενεργειακού συστήματος (π.χ. καμπύλες διάρκειας φορτίου, επέκταση δικτύου ηλεκτρισμού για τις στοχαστικές ΑΠΕ κλπ).

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Επιστημονικά περιοδικά

- **Karkatsoulis, P.**, Capros, P., Fragkos, P., Paroussos, L., Tsani, S., (2016), First-Mover Advantages of the European Union's Climate Change Mitigation Strategy, International Journal of Energy Research.
- **Karkatsoulis P.**, Siskos P., Paroussos L. & Capros P., (2016), "Simulating deep CO₂ emission reduction in transport in a general equilibrium framework: the GEM-E3T model", special issue of Transportation Research Part D: Transport and Environment, Elsevier.
- Capros, P., Paroussos, L., Charalampidis, I., Fragkiadakis, K., **Karkatsoulis, P.**, Tsani, S., (2016), Macroeconomic and sectoral effects of higher electricity and gas prices in the EU: A general equilibrium modeling approach, Energy Strategy Reviews.
- O.Y. Edelenbosch, D.L. McCollum, D.P. van Vuuren, C. Bertram, S. Carrara, H. Daly, S. Fujimori, A. Kitous, P. Kyle, E. O Broin, **P. Karkatsoulis**, L., F. Sano. (2016), "Decomposing passenger transport futures: Comparing results of global Integrated Assessment Models", special issue of Transportation Research Part D: Transport and Environment, Elsevier.
- Giacomo Marangoni, Massimo Tavoni, Valentina Bosetti, Emanuele Borgonovo, Pantelis Capros, Oliver Fricko, David Gernaat, Celine Guivarch, Petr Havlik, Daniel Huppmann, Nils Johnson, **Panagiotis Karkatsoulis**, Ilkka Keppo, Volker Krey, Eoin Ó Broin, James Price, Detlef P. van Vuuren. (2016), Sensitivity of projected long-term CO₂ emissions across the Shared Socioeconomic Pathways. Nature Climate Change.
- David L. McCollum, Charlie Wilson, Michela Bevione, Samuel Carrara, Oreane Y. Edelenbosch, Johannes Emmerling, Celine Guivarch, **Panagiotis Karkatsoulis**, Ilkka Keppo, Volker Krey, Zhenhong Lin, Eoin Ó Broin, Leonidas Paroussos, Hazel Pettifor, Kalai Ramea, Keywan Riahi, Fuminori Sano, Baltazar Solano Rodriguez, Detlef P. van Vuuren, The role of consumer preferences and climate policies in shaping the global private vehicle market. Nature Energy (under review).

Δημοσιεύσεις σε πρακτικά συνεδρίων

- **Karkatsoulis, P.**, Paroussos, L., Fragkos, P., Capros, P., 2014 "Using a general equilibrium model to evaluate first mover advantage in climate policy", 1st PanHellenic Conference on Environmental and Natural Resource Economics with emphasis to Climate Change (ENVECON 2014), 26-27 March, Volos, Greece, available at: .

http://envecon2014.econ.uth.gr/main/sites/default/files/envecon_1_proceedings_final_r1.pdf, 230 - 241

- P. Capros, L. Paroussos, **P. Karkatsoulis**, "Macroeconomic costs and benefits for the EU as a first mover in climate change mitigation: a computable general equilibrium analysis", BIEE Conference 2012, available at: <http://www.biee.org/downloads/macroeconomic-costs-and-benefits-for-the-eu-as-a-first-mover-in-climate-change-mitigation-a-computable-general-equilibrium-analysis/>

Παρουσιάσεις σε Συνέδρια

- **Karkatsoulis, P.**, Paroussos, L., Fragkos, P., Capros, P., 2014 "Using a general equilibrium model to evaluate first mover advantage in climate policy", 1st PanHellenic Conference on Environmental and Natural Resource Economics with emphasis to Climate Change (ENVECON 2014), 26-27 March, Volos, Greece
- Paroussos L., **Karkatsoulis P.**, Fragkiadakis K., Capros P. (2012) "An Assessment of Carbon Leakage in the Light of the COP-15 Pledges". Paper presented at the Final WIOD Conference: Causes and Consequences of Globalization, Groningen, The Netherlands, April 24-26.
- Paroussos L., Kouvaritakis N., Capros P., Vrontisi Z., **Karkatsoulis P.** (2011) "Energy demand and GHG mitigation options", presented at the CIRCE Final Conference, Rome, May 23-25.

Κεφάλαια σε επιστημονικά βιβλία

- B. Saveyn, L. Paroussos, W. Szewczyk, T. Vandyck, J. Ciscar, **P. Karkatsoulis**, K. Fragkiadakis, P. Fragkos, Z. Vrontisi, P. Capros, D. Regemorter, (2016) "Economic Assessment of Climate, Energy and Air Quality Policies in the EU with the GEM-E3 model: An overview", Computable General Equilibrium Models, Vol. 3, pp 207-246.
- Paroussos L., Capros P., **Karkatsoulis P.**, Kouvaritakis N., Vrontisi Z., (2013), "Energy demand and GHG mitigation options", Regional assessment on climate change in the Mediterranean, Advances in Global Change Research, Springer, Volume 2, Part IV – People, pp 299-335.

Άλλες μελέτες / τεχνικές εκθέσεις

- **Karkatsoulis P.**, Fragkos P., Kouvaritakis N., Paroussos L., Capros P., (2015), "Policy assessment with GEM-E3 using the model developments realised in SIMPATIC", SIMPATIC Working Paper No.35b. Available at: http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2015/05/D10-4_GEME3_Final.pdf
- **Karkatsoulis P.**, Fragkos P., Kouvaritakis N., Paroussos L., Capros P., (2014), " Policy Assessment with state of the art GEM-E3 modeling", SIMPATIC Working Paper No.22. Available at: <http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2014/09/D10.2-Policy-scenarios-State-of-the-Art-NEMESIS-and-GEM-E3.pdf>
- **Karkatsoulis P.**, Fragkos P., Kouvaritakis N., Paroussos L. & Capros P. (2014). Reference scenarios with GEME3. SIMPATIC Working Paper No.21b. Available at: <http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2014/09/D10.3-n%C2%BA21-Baseline-Scenario-with-NEMESIS-and-GEM-E3-SG.pdf>
- **Karkatsoulis P.**, Fragkos P., Kouvaritakis N., Paroussos L. & Capros P. (2014). Simulation tests with GEM-E3. SIMPATIC Working Paper No.20. Available at: http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2014/09/D.9-6_SIMPATIC_final-with-cover.pdf
- **Karkatsoulis P.**, Kouvaritakis N., Paroussos L., Fragkos P. & Capros P. (2014). Modification of GEM-E3 technological innovation module. SIMPATIC Working Paper No.18. Available at: <http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2014/05/D9-2-n%C2%BA18-modification-of-GEM-E3-SG.pdf>
- **Karkatsoulis P.**, Kouvaritakis N., Paroussos L., Fragkos P. & Capros P. (2013). Reference scenarios with state of the art modeling, NEMESIS and GEME3. SIMPATIC Working Paper No.10b. Available at: <http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2013/10/D-10-1.pdf>
- Capros, P., Van Regemorter, D., Paroussos, L., **Karkatsoulis, P.**, Fragkiadakis, C., Tsani, S., Charalampidis, I. & Revesz, T. (2013). GEM-E3 Model Documentation. JRC-IPTS Working Papers JRC83177. Institute for Prospective and Technological Studies. Joint Research Centre.
- Capros P., **Karkatsoulis P.**, Kouvaritakis, N., Fragkos, P., Paroussos, L., Boitier B., Report on potential co-benefits of mitigation for Europe, AMPERE study (2013), Available at: <http://ampere-project.eu/web/>
- Denise Van Regemorter and Vera Zaporozhets (CES KULeuven), Oualid Gharbi and Pierre Le Mouel (ERASME), **P. Karkatsoulis**, K. Delkis, L. Paroussos, P. Capros (E3MLAB ICCS), (2010). Chapter 5.3: Endogenous Technical Change in a General Equilibrium Framework, Implementation in GEM-E3-World on report "Description of Model Improvements for GEM-E3. Improvements of Environmental aspects of GEM-E3".
- Paroussos L, **Karkatsoulis, P.**, Capros P, Kouvaritakis N., (2010). Chapter 2: Labour market on report "Description of Model Improvements for GEM-E3. Improvements of Environmental aspects of GEM-E3".

- P Capros, N Kouvaritakis, L Paroussos, **P Karkatsoulis**, K Fragkiadakis, D Van Regemorter, V Zaporozhets, Q Gharbi, P Le Mouel, K Delkis, (2010). “Description of GEME-E3 model improvements”. Final Report Models. http://www.e3mlab.eu/e3mlab/GEM%20-%20E3%20Manual/MODELS_GEME3_Description%20of%20Developments_2.pdf
- Leon Ntziachristos, Giorgos Mellios, Charis Kouridis, Thomas Papageorgiou, Maria Theodosopoulou, Zissis Samaras, Karl-Heinz Zierock, Nikos Kouvaritakis, Evaggelos Panos, **Panayotis Karkatsoulis**, Stephanie Schilling, Tamás Merétei, Péter Aladár Bodor, Slavitsa Damjanovic, Alain Petit (2008). Report on “European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with TREMOVE and COPERT”. http://www.e3mlab.eu/e3mlab/reports/Fleets_Final_Report.pdf

10.4. Βιβλιογραφικές αναφορές

- (UN), United Nations. 2013. "Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Ageing 2013."
- Acemoglu, Daron. 1998. "Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality." *The Quarterly Journal of Economics* 113(4): 1055–89.
<http://qje.oxfordjournals.org/content/113/4/1055.short%5Cnpapers2://publication/uuid/E9F866E2-916B-49C6-9228-DC389B6BADCA>.
- . 2002. "Directed Technical Change." *Review of Economic Studies* 69(4): 781–809.
- Adams, James D. 1990. "Fundamental Stocks of Knowledge and Productivity Growth." *Journal of Political Economy* 98(4): 673.
- Agenor, Pierre-Richard, Nadeem Ul Haque, and Peter J. Montiel. 1991. *A General Equilibrium Model with Informal Financial Markets*. Washington DC.
<https://ssrn.com/abstract=884628>.
- Aghion, Philippe, and Peter Howitt. 1992. "A Model of Growth Through Creative Destruction." *Econometrica* 60(2): 323–51.
- . 1997. "Endogenous Growth Theory." *MIT Press Books* 1: 1–12.
<http://ideas.repec.org/b/mtp/titles/0262011662.html>.
- Anandarajah, Gabriel et al. 2011. "TIAM-UCL Global Model Documentation."
- Ando, Albert K., Franco Modigliani, Robert Rasche, and Stephen J. Turnovsky. 1974. "On the Role of Expectations of Price and Technological Change in an Investment Function." *International Economic Review* 15(2): 384–414.
<https://ideas.repec.org/a/ier/iecrev/v15y1974i2p384-414.html>.
- Ando, Asao, and Bo Meng. 2009. "The Transport Sector and Regional Price Differentials: A Spatial Cge Model for Chinese Provinces." *Economic Systems Research* 21(2): 89–113.
- Armington, Paul S. 1969. "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production (Une Théorie de La Demande de Produits Différenciés D'après Leur Origine) (Una Teoría de La Demanda de Productos Distinguiénd." *IMF Staff Papers* 16(1): 159–78.
<https://ideas.repec.org/a/pal/imfstp/v16y1969i1p159-178.html>.
- Arrow, Kenneth. 1962. "The Economic Implications of Learning by Doing." *American Economic Review* 29(3): 155–73.
- Arrow, Kenneth J, and Gerard Debreu. 1954. "Existence of an Equilibrium for a

- Competitive Economy.” *Econometrica: Journal of the Econometric Society*: 265–90.
- Audretsch, David B., and Maryann P. Feldman. 1996. “R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production.” *American Economic Review* 86(3): 630–40.
- Azar, Christian, and Hadi Dowlatabadi. 1999. “A Review of Technical Change in Assessment of Climate Policy.” In *Annual Review of Energy and the Environment*, eds. Robert Socolow, Dennis Anderson, and John Harte. Annual Reviews Inc., 513–44.
- Beath, J., Y. Katsoulacos, and D Ulph. 1995. *Game Theoretic Approaches to the Modelling of Technological Change*. Stoneman.
- Berg, Charlotte. 2007. “Household Transport Demand in a CGE-Framework.” *Environmental and Resource Economics* 37(3): 573–97.
- Binswanger, Hans P., and Vernon W. Ruttan. 1978. *Induced Innovation: Technology, Institutions and Developmen*. Baltimore: The Johns Hopkins University.
- Bosetti, Valentina, and Thomas Longden. 2013. “Light Duty Vehicle Transportation and Global Climate Policy: The Importance of Electric Drive Vehicles.” *Energy Policy* 58: 209–19.
- Bourguignon, François, William H Branson, and Jaime de Melo. 1989. *Macroeconomic Adjustment and Income Distribution: A Macro-Micro Simulation Model*. OECD Publishing. <https://ideas.repec.org/p/oec/devaaa/1-en.html>.
- Bourguignon, François, Jaime De Melo, and Akiko Suwa. 1991. “Modeling the Effects of Adjustment Programs on Income Distribution.” *World Development* 19(11): 1527–44.
- Box, George E P. 1979. “Robustness in the Strategy of Scientific Model Building.” *Robustness in statistics* 1: 201–36.
- Branson, William H William H. 1979. *Macroeconomic Theory and Policy*.
- Branstetter, Lee G. 2001. “Are Knowledge Spillovers International or Intranational in Scope?: Microeconomic Evidence from the U.S. and Japan.” *Journal of International Economics* 53(1): 53–79.
- Bresnahan, Timothy F., and M. Trajtenberg. 1995. “General Purpose Technologies ‘Engines of Growth’?” *Journal of Econometrics* 65(1): 83–108.
- Buonanno, Paolo, Carlo Carraro, and Marzio Galeotti. 2003. “Endogenous Induced

- Technical Change and the Costs of Kyoto.” *Resource and Energy Economics* 25(1): 11–34.
- Bye, Brita, Taran Fæhn, and Tom-Reiel Heggedal. 2009. “Welfare and Growth Impacts of Innovation Policies in a Small, Open Economy; an Applied General Equilibrium Analysis.” *Economic Modelling* 26(5): 1075–88.
- Capros, P, A De Vita, et al. 2013. *EU Energy, Transport and GHG Emissions: Trends to 2050, Reference Scenario 2013*.
- Capros, P, D van Regemorter, et al. 2013. JRC Technical Reports *GEM-E3 Model Documentation*.
- Capros, P. 2013. “The PRIMES Model 2013-2014: Detailed Model Description.” *E3MLab/ICCS at National Technical University of Athens*.
- Capros, P. et al. 2016. “Assessment of the Macroeconomic and Sectoral Effects of Higher Electricity and Gas Prices in the EU: A General Equilibrium Modeling Approach.” *Energy Strategy Reviews* 9: 18–27.
- Capros, Pantelis. 1997. *The GEME3 Model*.
- . 2014a. “Description of Models and Scenarios Used to Assess European Decarbonisation Pathways.” *Energy Strategy Reviews* 2(3): 220–30.
- . 2014b. “European Decarbonisation Pathways under Alternative Technological and Policy Choices: A Multi-Model Analysis.” *Energy Strategy Reviews* 2(3–4): 231–45.
- Capros, Pantelis, and Pavlos Karadeloglou. 1993. “Structural Adjustment and Public Deficit: A Computable General Equilibrium Modelling Analysis for Greece.”
- Capros, Pantelis, Leonidas Paroussos, and Panagiotis Karkatsoulis. 2012. “Macroeconomic Costs and Benefits for the EU as a First Mover in Climate Change Mitigation: A Computable General Equilibrium Analysis.” In *BIEE Conference*, http://www.biee.org/wpcms/wp-content/uploads/Macroeconomic_costs_and_benefits_for_the_EU_in_climate_change_mitigation.pdf.
- Cass, David. 1965. “Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation: A Turnpike Theorem.” *The Review of Economic Studies* 32(3): 233–40.
- Castillo, Enrique, J. M. Menéndez, Pilar Jiménez, and Ana Rivas. 2008. “Closed Form Expressions for Choice Probabilities in the Weibull Case.” *Transportation Research Part B: Methodological* 42(4): 373–80.
- Christensen, Clayton M. 1997. “Making Strategy: Learning by Doing.” *Harvard*

- Business Review* 75(6): 141–56.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=9711071083&site=ehost-live>.
- Christensen, Martin Aarøe. 2015. *The Economic Impact of Increasing Public Support to ICT R&D: A Modelling Approach*.
<https://ideas.repec.org/p/ipt/iptwpa/jrc97907.html>.
- Clarke, John F., and J. A. Edmonds. 1993. “Modelling Energy Technologies in a Competitive Market.” *Energy Economics* 15(2): 123–29.
- Clarke, L., and J. Weyant. 2002. “Modeling Induced Technological Change: An Overview.” In *In Technological Change and the Environment*, ed. Nordhaus W Grübler A, Nakicenovic N. Resources for the Future Press: Washington, DC.
- Clarke, Leon, John Weyant, and Jae Edmonds. 2008. “On the Sources of Technological Change: What Do the Models Assume?” *Energy Economics* 30(2): 409–24.
- Coe, David T., and Elhanan Helpman. 1995. “International R&D Spillovers.” *European Economic Review* 39(5): 859–87.
- Cohen, Wesley M, and Daniel A Levinthal. 1989. “Innovation and Learning: The Two Faces of R & D.” *The Economic Journal* 99(99): 569–96.
- COM(2013) 169 final. 2013. *GREEN PAPER A 2030 Framework for Climate and Energy Policies*. Brussels. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0169&from=EN>.
- Di Comite, Francesco, and D’Artis Kancs. 2015. *Macro-Economic Models for R&D and Innovation Policies - A Comparison of QUEST, RHOMOLO, GEM-E3 and NEMESIS*. <https://ideas.repec.org/p/ipt/iptwpa/jrc94323.html>.
- Commissio, E. 2012. “The 2012 Ageing Report. Economic and Budgetary Projections for the 27 EU Member States (2010-2060).” *European Economy* 2: 2012.
- Dasgupta, P., and P. David. 1991. *Resource Allocation and the Institutions of Science*.
- Dechezleprêtre, Antoine, Ralf Martin, and Myra Mohnen. 2014. “Knowledge Spillovers from Clean and Dirty Technologies.”
- Decker, M, L Vasakova, and others. 2011. “Energy Roadmap 2050. Impact Assessment and Scenario Analysis.” *European Commission, Energy, unit A1 Energy policy and analysis*.
- Diao, Xinshen, Terry Roe, and Erinc Yeldan. 1999. “Strategic Policies and Growth:

- An Applied Model of R&D-Driven Endogenous Growth.” *Journal of Development Economics* 60(2): 343–80.
- Dinopoulos, Elias, and Peter Thompson. 1998. “Schumpeterian Growth Without Scale Effects.” *Journal of Economic Growth* 3(4): 313–35.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1009711822294>.
- Dirkse, Steven P, and Michael C. Ferris. 1995. “The Path Solver: A Nonmonotone Stabilization Scheme for Mixed Complementarity Problems.” *Optimization Methods and Software* 5(2): 123–56.
- Dixon, Peter B., K. R. Pearson, Mark R. Picton, and Maureen T. Rimmer. 2005. “Rational Expectations for Large CGE Models: A Practical Algorithm and a Policy Application.” *Economic Modelling* 22(6): 1001–19.
- Easterly, William. 1990. “10 Portfolio Effects in Model: Devaluation in Dollarized Economy.” *Socially Relevant Policy Analysis: Structuralist Computable General Equilibrium Models for the Developing World*: 269.
- EC. 2016. “COM 110 Final.”
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-110-EN-F1-1.PDF>.
- Edelenbosch, O.Y. et al. 2016. “Decomposing Passenger Transport Futures: Comparing Results of Global Integrated Assessment Models.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Van Erp, F. A M, B. H. Hasselman, A. G H Nibbelink, and H. R. Timmer. 1989. “A Monetary Model of the Dutch Economy. A Quarterly Submodel of Freia-Kompas.” *Economic Modelling* 6(1): 56–93.
- Fargeix, André, and Elisabeth Sadoulet. 1990. “A Financial Computable General Equilibrium Model for the Analysis of Ecuador’s Stabilization Programs.”
- Ferris, Michael C., and Todd S. Munson. 2000. “Complementarity Problems in GAMS and the PATH Solver.” *Journal of Economic Dynamics and Control* 24(2): 165–88.
- Fischer, C, and R Newell. 2004. “Environmental and Technology Policies for Climate Change and Renewable Energy.” *Resources for the Future Discussion*(April): 47. <http://www.rff.org/rff/News/Features/Environmental-and-Technology-Policies-for-Climate-Change-and-Renewable-Energy.cfm>.
- Fisher, Brian S et al. 2007. “Issues Related to Mitigation in the Long Term Context.” *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 82.

- Fosgerau, M., and M. Bierlaire. 2009. "Discrete Choice Models with Multiplicative Error Terms." *Transportation Research Part B: Methodological* 43(5): 494–505.
- Fougeyrollas, A., P. Le Mouël, and P. Zagame. 2001. *Semi-Endogenous Growth in a Computable Equilibrium Approach, the Sixth Congress of the Society of Computational Economics*.
- Fougeyrollas, Arnaud, Pierre Le Mouël, and Paul Zagamé. 2005. "Les Nouvelles Théories de La Croissance En Application." *Revue économique* 56(5/2005): 1089–1105. www.cairn.info/revue-economique-2005-5-page-1089.htm.
- Fragkos, Panagiotis, Nikos Kouvaritakis, and Pantelis Capros. 2015. "Incorporating Uncertainty into World Energy Modelling: The PROMETHEUS Model." *Environmental Modeling and Assessment* 20(5): 549–69.
- Ghemawat, P., and A. M. Spence. 1985. "Learning Curve Spillovers and Market Performance." *The Quarterly Journal of Economics* 100(Supplement): 839–52. <http://qje.oxfordjournals.org/content/100/Supplement/839.abstract>.
- Ghosh, Madanmohan. 2007. "R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada." *Review of development economics* 11(1): 187–203.
- Gilbert, Richard J., and David M.G. Newbery. 1982. "Preemptive Patenting and the Persistence of Monopoly." *American Economic Review* 72(3): 514–26.
- Gillingham, Kenneth, Richard G. Newell, and William A. Pizer. 2008. "Modeling Endogenous Technological Change for Climate Policy Analysis." *Energy Economics* 30(6): 2734–53.
- Girod, Bastien et al. 2013. "Climate Impact of Transportation A Model Comparison." *Climatic Change* 118(3–4): 595–608.
- Girod, Bastien, Detlef P van Vuuren, and Sebastiaan Deetman. 2012. "Global Travel within the 2 Degree C Climate Target." *Energy Policy* 45(1): 152–66.
- Goulder, Lawrence H., and Stephen H. Schneider. 1999. "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO2 Abatement Policies." *Resource and Energy Economics* 21(3–4): 211–53.
- Griliches, Z. 1979. "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth." *The Bell Journal of Economics* 10(1): 92–116.
- Griliches, Zvi. 1991. *The Search for RD Spillovers*.
- Grossman, Gene M, and Elhanan Helpman. 1991. *Innovation and Growth in the Global Economy*.

- Grubb, Michael, Thierry Chapuis, and Minh Ha. Duong. 1995. "The Economics of Changing Course: Implications of Adaptability and Inertia for Optimal Climate Policy." *Energy policy* 23(4): 417–31.
- Grubler, A., and G. Nemet. 2012. "Historical Case Studies of Energy Technology Innovation in: Sources and Consequences of Knowledge Depreciation." In *The Global Energy Assessment.*, eds. A. Grubler et al. Cambridge, UK.: Cambridge University Press.
- Grübler, Arnulf, Nebojsa Nakicenovic, and David G Victor. 1999. "MODELING TECHNOLOGICAL CHANGE: Implications for the Global Environment." *Annual Review of Energy and the Environment* 24(1): 545–69.
<http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.energy.24.1.545>.
- Hume, D. 1889. *1 Search Essays: Moral, Political, and Literary, Volume 1*.
<http://www.econlib.org/library/LFBooks/Hume/hmMPL24.html>.
- Ianchovichina, E, and R McDougall. 2001. "Structure of Dynamic GTAP. GTAP Technical Paper 17." *Center for Global Trade Analysis, available on line at www.gtap.org*.
- IPCC. 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jaffe, Adam B. 1986. "Technological Opportunity and Spillovers of R & D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value." *The American Economic Review* 76(5): 984–1001. <http://www.jstor.org/stable/1816464>.
- Jaffe, Adam B., Richard G. Newell, and Robert N. Stavins. 2005. "A Tale of Two Market Failures: Technology and Environmental Policy." *Ecological Economics* 54(2–3): 164–74.
- Jaffe, Adam B., and Manuel Trajtenberg. 1999. "International Knowledge Flows: Evidence From Patent Citations." *Economics of Innovation and New Technology* 8(February 2015): 105–36.
- Jamasb, Tooraj. 2007. "Technical Change Theory and Learning Curves: Patterns of Progress in Electricity Generation Technologies." *The Energy Journal* 28(0): 51–72.
- Jeffreys, H, and B Jeffreys. 1988. *Methods of Mathematical Physics*. 3rd ed. ed. Cambridge. England: Cambridge University Press.
- Jones, Charles I. 1995. "R & D-Based Models of Economic Growth." *Journal of Political Economy* 103(4): 759–84.

- Jones, Larry E, and Rodolfo E Manuelli. 1990. "A Convex Model of Equilibrium Growth: Theory and Policy Implications." *Journal of Political Economy* 98(5): 1008–38. <https://ideas.repec.org/a/ucp/jpolec/v98y1990i5p1008-38.html>.
- Kahouli-Brahmi, Sondes. 2008. "Technological Learning in Energy-Environment-Economy Modelling: A Survey." *Energy Policy* 36(1): 138–62.
- Kamien, M I, and N L Schwartz. 1969. "Induced Factor Augmenting Technical Progress From a Microeconomic Viewpoint." *Econometrica* 37(4): 668–84. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=6859664&site=ehost-live&scope=site>.
- Karkatsoulis, P. et al. 2014. *Policy Assessment with State of the Art GEM-E3 Modeling*. <http://simpatic.eu/wp-content/uploads/2014/09/D10.2-Policy-scenarios-State-of-the-Art-NEMESIS-and-GEM-E3.pdf>.
- . 2016. "First-Mover Advantages of the European Union's Climate Change Mitigation Strategy." *International Journal of Energy Research*.
- Karkatsoulis, Panagiotis et al. 2014. *Modification of GEM-E3 Technological Innovation Module*. Bruegel. <https://ideas.repec.org/p/bre/simpap/1063.html>.
- Karkatsoulis, Panagiotis, Pelopidas Siskos, Leonidas Paroussos, and Pantelis Capros. 2016. "Simulating Deep CO2 Emission Reduction in Transport in a General Equilibrium Framework: The GEM-E3T Model." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Kaya, Yoichi, and others. 1990. "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios." *IPCC energy and industry subgroup, response strategies working group, Paris* 76.
- Keller, Wolfgang. 2004. "International Technology Diffusion." *Journal of Economic Literature* 42(3): 752–82. <http://www.nber.org/papers/w8573>.
- Khan, Haider A, and others. 2007. "Social Accounting Matrices (SAMs) and CGE Modeling: Using Macroeconomic Computable General Equilibrium Models for Assessing Poverty Impact of Structural Adjustment Policies." *CIRJE discussion papers series* 463.
- Kiley, Michael T. 1999. "The Supply of Skilled Labour and Skill-Biased Technological Progress." *Economic Journal* 109(458): 708–24.
- Kobos, Peter H., Jon D. Erickson, and Thomas E. Drennen. 2006. "Technological Learning and Renewable Energy Costs: Implications for US Renewable Energy Policy." *Energy Policy* 34(13): 1645–58.
- Koopmans, T.C. 1965. "On the Concept of Optimal Economic Growth." *Pontificae*

Academiae Scientiarum Scripta Varia 28: 225–300.

- Kouvaritakis, Nikolaos, Antonio Soria, and Stephane Isoard. 2000. “Modelling Energy Technology Dynamics: Methodology for Adaptive Expectations Models with Learning by Doing and Learning by Searching.” *International Journal of Global Energy Issues (IJGEI)* 14(1–4): 104–15.
- Kriegler, Elmar et al. 2015. “Diagnostic Indicators for Integrated Assessment Models of Climate Policy.” *Technological Forecasting and Social Change* 90(PA): 45–61.
- Kristkova, Z. 2013. “Analysis of Private R&D Effects in a CGE Model with Capital Varieties: The Case of Czech Republic.” *Journal of Economics and Finance* 63(3): 262–87.
- Lecocq, Franck, and Z Shalizi. 2007. “How Might Climate Change Affect Economic Growth in Developing Countries? A Review of the Growth Literature with a Climate Lens.” ... *of the Growth Literature With a Climate Lens* (... (August). http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1007154.
- Lee, Jong-Wha. 1995. “Capital Goods Imports and Long-Run Growth.” *Journal of Development Economics* 48(1): 91–110.
- Leimbach, Marian et al. 2010. “Technological Change and International Trade - Insights from REMIND-R.” *The Energy Journal* 31(2): 109–36. <https://www.pik-potsdam.de/research/sustainable-solutions/flagshipspld/MitigationScenarios/adam/leimbach>.
- Lemelin, André, and others. 2009. “Commerce et Flux Financiers Internationaux: MIRAGE-D.” *Document de travail* (2009–27).
- Lemelin, Andre, Veronique Robichaud, and Bernard Decaluwe. 2013. “Endogenous Current Account Balances in a World CGE Model with International Financial Assets.” *ECONOMIC MODELLING* 32: 146–60.
- Lewis, Jeffrey D. 1992. “Financial Repression and Liberalization in a General Equilibrium Model with Financial Markets.” *Journal of Policy Modeling* 14(2): 135–66.
- Lieberman, Marvin B, and David B Montgomery. 1988. “First-Mover Advantages.” *Strategic Management Journal* 9: 41–58. <http://www.jstor.org/stable/2486211>.
- Liu, Jing-Yu et al. 2015. “A Financial CGE Model Analysis: Oil Price Shocks and Monetary Policy Responses in China.” *Economic Modelling* 51: 534–43. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264999315002370>.

- Lluch, Constantino. 1973. "The Extended Linear Expenditure System." *European Economic Review* 4(1): 21–32.
- Löschel, Andreas. 2002. "Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey." *Ecological Economics* 43(2–3): 105–26.
- Lucas, Robert E. 1972. "Expectations and the Neutrality of Money." *Journal of Economic Theory* 4(2): 103–24.
- Lucas, Robert E. 1988. "On the Mechanics of Economic Development." *Journal of Monetary Economics* 22(1): 3–42.
- Mansfield, Edwin. 1961. "Technical Change and the Rate of Imitation." *Econometrica* 29(4): 741–66.
- Mansury, Yuri Surtadi. 2002. ProQuest Dissertations and Theses "Nonlinear Impacts of the Asian Financial Crisis on Income Distribution in Indonesia: A Financial Computable General Equilibrium Approach." Cornell University. <http://search.proquest.com/docview/304800762?accountid=13771>.
- Marcucci, Adriana, and Hal Turton. 2015. "Induced Technological Change in Moderate and Fragmented Climate Change Mitigation Regimes." *Technological Forecasting and Social Change* 90(PA): 230–42.
- Marshall, Alfred. 1920. *Principles of Economics*. 8th ed. London: McMillan and Co. .
- Mathiesen, Lars. 1985. "Computation of Economic Equilibria by a Sequence of Linear Complementary Problems." *Mathematica Programming Study* 23: 144–62.
- Mattsson, Lars Göran, Jörgen W. Weibull, and Per Olov Lindberg. 2014. "Extreme Values, Invariance and Choice Probabilities." *Transportation Research Part B: Methodological* 59: 81–95.
- McCartney Paul. 2013. *Assessment of Methods for Modelling and Appraisal of the Sub-National, Regional and Local Economy Impacts of Transport*. UK .
- der Mensbrugghe, Dominique. 2005. "Linkage Technical Reference Document." *Development Prospects Group, The World Bank*.
- Muth, John F. 1961. "Rational Expectations and the Theory of Price Movements." *Econometrica* 29(3): 315–35.
- Naastepad, C. W M. 2002. "Trade-Offs in Stabilisation: A Real-Financial CGE Analysis with Reference to India." *Economic Modelling* 19(2): 221–44.
- Nadiri, M Ishaq, and Theofanis P Mamuneas. 1994. "The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S.

- Manufacturing Industries." *Review of Economics & Statistics* 76(1): 22–37.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=5699288&site=ehost-live%5Cnpapers3://publication/uuid/3ED3571B-F5D1-4902-AD8B-26714EC1548E>.
- Nelson, Richard. 1959. "The Simple Economics of Basic Scientific Research." *Journal of Political Economy* 67(3): 297–306.
- Nemet, Gregory F. 2009. "Demand-Pull, Technology-Push, and Government-Led Incentives for Non-Incremental Technical Change." *Research Policy* 38(5): 700–709.
- Noailly, Joelle, and Victoria Shestalova. 2013. "Knowledge Spillovers from Renewable Energy Technologies Lessons from Patent Citations." *CPB Discussion Paper* 262.
- Nordhaus, William D. 2002. "Modeling Induced Innovation in Climate-Change Policy." *Technological change and the environment* 9: 259–90.
- Ortuzar, Juan de Dios, and Luis G. Willumsen. 2011. *Modelling Transport Modelling Transport*.
- Otto, Sander A C et al. 2015. "Impact of Fragmented Emission Reduction Regimes on the Energy Market and on CO 2 Emissions Related to Land Use: A Case Study with China and the European Union as First Movers." *Technological Forecasting and Social Change* 90: 220–29.
- Paltsev, Sergey et al. 2004. "Disaggregating Household Transport in the MIT-EPPA Model." In *Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Technical Note No. 5*,.
- Parkin, M. 1970. "Discount House Portfolio and Debt Selection." *Review of Economic Studies* 37(4).
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=4619440&site=ehost-live&scope=site>.
- Persyn, Damiaan, Wouter Torfs, and D. Kancs. 2014. "Modelling Regional Labour Market Dynamics: Participation, Employment and Migration Decisions in a Spatial CGE Model for the EU." *Investigaciones Regionales*: 77.
- Popp, David. 2002. "Induced Innovation and Energy Prices." *American Economic Review* 92(1): 160–80.
- Popp, David C. 2001. "The Effect of New Technology on Energy Consumption." *Resource and Energy Economics* 23(3): 215–39.
- Ramsey, Frank P. 1928. "A Mathematical Theory of Saving." *The Economic Journal*

38(152): 543–59.

- Rebelo, S. 1998. *The Role of Knowledge and Capital in Economic Growth*.
<https://ideas.repec.org/p/fth/wodeec/149.html>.
- Rebelo, Sergio. 1991. "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth." *Journal of Political Economy* 99(3): 500–521.
<https://ideas.repec.org/a/ucp/jpolec/v99y1991i3p500-521.html>.
- Reister, David B. 1983. "An Analysis of Industrial Demand for Natural Gas." *Energy* 8(10): 749–56.
- Riahi, Keywan et al. 2012. "Chapter 17: Energy Pathways for Sustainable Development." *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*: 1203–1306. www.globalenergyassessment.org.
- . 2013. "Locked into Copenhagen Pledges - Implications of Short-Term Emission Targets for the Cost and Feasibility of Long-Term Climate Goals." *Technological Forecasting and Social Change*.
- Ricardo, David. 1817. *The Principles of Political Economy and Taxation*. J.M. Dent and Son.
- Robinson, Sherman. 1991. "Macroeconomics, Financial Variables, and Computable General Equilibrium Models." *World Development* 19(11): 1509–25.
- Robson, Edward, and Vinayak Dixit. 2015. "A Review of Computable General Equilibrium Modelling for Transport Appraisal." In *CONFERENCE OF AUSTRALIAN INSTITUTES OF TRANSPORT RESEARCH*, , 1–12.
- Rogers, Everett M. 2003. *Diffusion of Innovations*. 5th ed.
- Romer, Paul M. 1986. "Increasing Returns and Long-Run Growth." *Journal of Political Economy* 94(5): 1002–37.
<http://www.jstor.org/stable/1833190>
<http://www.jstor.org/stable/pdfplus/10.2307/1833190.pdf?acceptTC=true>
http://files/7870/Romer_1986_Increasing>Returns%20and%20Long-Run%20Growth.pdf.
- . 1990. "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy* 98(5): S71–102.
<http://www.jstor.org/stable/2937632>
<http://www.jstor.org/stable/pdfplus/10.2307/2937632.pdf?acceptTC=true>
http://files/7868/Romer_1990_Endogenous%20Technological%20Change.pdf.
- Rosensweig, Jeffrey A, and Lance Taylor. 1990. "Devaluation, Capital Flows, and Crowding-out: A CGE Model with Portfolio Choice for Thailand." *Socially Relevant Policy Analysis: Structuralist Computable General Equilibrium Models*

for the Developing World: 302–32.

- Rutherford, Thomas F. 1995. "Extension of GAMS for Complementarity Problems Arising in Applied Economic Analysis." *Journal of Economic Dynamics and Control* 19(8): 1299–1324.
- Rutherford, Thomas F, and Renger van Nieuwkoop. 2011. "An Integrated Transport Network-Computable General Equilibrium Models for Zurich." In *Swiss Transport Research Conference. April, , 2011.*
- Sakamoto, Hiroshi, and others. 2011. *CGE Analysis of Transportation Cost and Regional Economy: East Asia and Northern Kyushu.*
- Schumpeter, Joseph. 1942. *Capitalism, Socialism and Democracy.* New York: Harper.
- Schumpeter, Joseph Alouis. 1934. "The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle." *Harvard economic studies* 46(2): xii, 255 .
[http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract%7B_%7Ddid=1496199.](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract%7B_%7Ddid=1496199)
- Shapiro, Carl, and Joseph Stiglitz. 1984. "Equilibrium Unemployment as a Worker Discipline Device." *American Economic Review* 74(3): 433–44.
[http://econpapers.repec.org/RePEc:aea:aecrev:v:74:y:1984:i:3:p:433-44.](http://econpapers.repec.org/RePEc:aea:aecrev:v:74:y:1984:i:3:p:433-44)
- Sheshinski, E. 1967. "Balanced Growth and Stability in the Johansen Vintage Model." *The Review of Economic Studies* 34(2): 239–48.
[http://www.jstor.org/stable/2296812.](http://www.jstor.org/stable/2296812)
- Shoven, John B, and John Whalley. 1984. "Applied General-Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey." *Journal of Economic Literature* 22(3): 1007–51.
- Smith, Adam. 1776. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.* London: W. Strahan and T. Cadell .
- Solow, R. M. 1956. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *The Quarterly Journal of Economics* 70(1): 65–94.
- Solow, Robert M. 1957. "Technical Change and the Aggregate Production Function." *The Review of Economics and Statistics* 39(3): 312.
[http://www.jstor.org/stable/1926047?origin=crossref.](http://www.jstor.org/stable/1926047?origin=crossref)
- Spence, A Michael. 1981. "The Learning Curve and Competition." *Source: The Bell Journal of Economics* 121632(1): 49–70.
<http://www.jstor.org/stable/3003508%5Cnhttp://about.jstor.org/terms%5Cn>
[http://www.jstor.org.](http://www.jstor.org)

- Van Steenberghe, Alex, Marie Vandresse, and Inge Mayeres. 2011. *A Computable General Equilibrium for Belgium with a Special Focus on Transport Policies*.
- Stiglitz, Joseph E. 1987. "Learning to Learn, Localized Learning and Technological Progress." In *Economic Policy and Technological Performance*, ed. Paul Stoneman Partha Dasgupta. University of Hull: Cambridge University Press, 125–53.
- Stone, Richard. 1954. "Linear Expenditure Systems and Demand Analysis : An Application to the Pattern of British Demand." *The Economic Journal* 64(255): 511–27.
- Sue Wing, Ian. 2006. "Representing Induced Technological Change in Models for Climate Policy Analysis." *Energy Economics* 28(5–6): 539–62.
- Swan, T. W. 1956. "ECONOMIC GROWTH and CAPITAL ACCUMULATION." *Economic Record* 32(2): 334–61.
- Taheripour, Farzad et al. 2007. "Introducing Liquid Biofuels into the GTAP Database." *GTAP Research Memorandum*. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Tasios, Nikolaos, Evi Apostolaki, Pantelis Capros, and Alessia De Vita. 2013. "Analyzing the Bio-Energy Supply System in the Context of the 20-20-20 Targets and the 2050 Decarbonization Targets in the EU." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 7(2): 126–46.
- Thissen, Mark, and Robert Lensink. 2001. "Macroeconomic Effects of a Currency Devaluation in Egypt: An Analysis with a Computable General Equilibrium Model with Financial Markets and Forward-Looking Expectations." *Journal of Policy Modeling* 23(4): 411–19.
- Tobin, James. 1969. "A General Equilibrium Approach to Monetary Theory." *Journal of Money, Credit and Banking* 1(1): 15–29.
<http://econpapers.repec.org/RePEc:mcb:jmoncb:v:1:y:1969:i:1:p:15-29>.
- Varga, Janos, and Jan in't Veld. 2011. "A Model-Based Analysis of the Impact of Cohesion Policy Expenditure 2000–06: Simulations with the QUEST III Endogenous R&D Model." *Economic Modelling* 28(1): 647–63.
- Verspagen, Bart. 1997. "Measuring Intersectoral Technology Spillovers: Estimates from the European and US Patent Office Databases." *Economic Systems Research* 9(1): 47–65.
- Verspagen, Bart, and Ivo De Loo. 1999. "Technology Spillovers between Sectors." *Technological Forecasting and Social Change* 60(3): 215–35.

- Waisman, Henri-David, Celine Guivarch, and Franck Lecocq. 2013. "The Transportation Sector and Low-Carbon Growth Pathways: Modelling Urban, Infrastructure, and Spatial Determinants of Mobility." *Climate Policy* 13(sup01): 106–29. <http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2012.735916>.
- Watanabe, C., C. Griffy-Brown, B. Zhu, and A. Nagamatsu. 2002. "Inter-Firm Technology Spillover and the 'Virtuous Cycle' of Photovoltaic Development in Japan." In *Technological Change and the Environment. Washington: Resources for the Future.*, eds. A. GRUBLER, N. NAKICENOVIC, and W. NORDHAUS.
- Weyant, John P, and Thomas Olavson. 1999. "Issues in Modeling Induced Technological Change in Energy , Environmental, and Climate Policy." *Environmental Modeling and Assessment* 4: 67–85.
- Yeldan, A Erinc. 1997. "Financial Liberalization and Fiscal Repression in Turkey: Policy Analysis in a CGE Model with Financial Markets." *Journal of Policy Modeling* 19(1): 79–117. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V82-3SWTGKN-5/2/d8010f46ec4b21fe923125a5fcd921e9>.
- Young, Allyn A. 1928. "Increasing Returns and Economic Progress." *The Economic Journal* 38(152): 527–42. <http://www.jstor.org/stable/2224097> <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2224097>.
- Young, Alwyn. 1998. "Growth without Scale Effects." *Journal of Political Economy* 106(1): 41–63. <http://econpapers.repec.org/RePEc:ucp:jpolec:v:106:y:1998:i:1:p:41-63>.
- Zagame, P. et al. 2010. *The NEMESIS Reference Manual*.
- Zanchi, G, N Pena, and N Bird. 2010. "The Upfront Carbon Debt of Bioenergy." *Joanneum Research, Graz, May*: 56. http://europe.birdlife.org/eu/pdfs/PPT_carbon_bomb_joanneum.pdf.
- Van Zon, Adriaan. 1994. *RUM: A Simple Recursive Update Model. Providing a Condensed Representation of a Putty-Semi-Putty Vintage Model*. <http://www.merit.unu.edu/publications/rmpdf/1994/rm1994-002.pdf>.
- Καλαϊτζιδάκης, Παντελής, and Σαράντης Καλυβίτης. 2002. *Οικονομική Μεγάθυνηση*. Κριτική ΑΕ.
- Καρκατσούλης, Παναγιώτης. 2007. "Γραμμικός Μετασχηματισμός Πολυτομεακού Υποδείγματος Γενικής Ισορροπίας Για Τον Έλεγχο Των Ιδιοτήτων Δυναμικής Προσομοίωσης." *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.
- Κατσουλάκος, Ιωάννης Σ. 2002. *Θεωρία Βιομηχανικής Οργάνωσης*. Γιώργος

Δαρδάνος.

Παρούσος, Λεωνίδα. 2009. “Ενέργεια Και Κλιματική Αλλαγή: Οικονομική Ανάλυση Στο Πλαίσιο Της Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας.” Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος.