

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΟΥΣ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΣΕ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Χ. Αβραάμ

Επιβλέπων: **Παντελής Κάπρος**
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Χ. Αβραάμ

Επιβλέπων : Παντελής Κάπρος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1^η Σεπτεμβρίου 2015.

.....
Παντελής Κάπρος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κωνσταντίνος Βουρνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Κορρές
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

.....
Χαράλαμπος, Χ. Αβραάμ

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

Copyright © Χαράλαμπος Χ. Αβραάμ, 2015.

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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παντελή Κάπρο, τόσο για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το παρόν ερευνητικό ζήτημα, όσο και για τη συνολικότερη καθοδήγησή του. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Λεωνίδα Παρούσο καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Καρκατσούλη για την πολύτιμη βοήθειά τους σε ζητήματα μακροοικονομικής θεωρίας και μοντελοποίησης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου Υποδειγμάτων Ενέργειας – Οικονομίας – Περιβάλλοντος του Ε.Μ.Π. για τη βοήθεια και τη στήριξή τους και ιδιαίτερα την επιστημονική συνεργάτιδα κα. Μαρία Κανναβού για την πολύπλευρη συνεισφορά της, τόσο στην εύρεση δεδομένων όσο και στην ανάλυση ζητημάτων σχετικών με την ηλεκτρική αγορά.

Στην οικογένειά μου, Μυρτώ, Αλέξανδρο, Ευριπίδη

*Μα πάνω απ' όλα στους ανθρώπους που με έμαθαν να περπατάω, να μιλάω και να σκέφτομαι,
Παρασκευή και Χρήστο*

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και η σύνδεση λεπτομερούς μοντέλου ηλεκτροπαραγωγής σε ένα υπόδειγμα υπολογίσιμης γενικής οικονομικής ισορροπίας. Η αναγκαιότητα της ενσωμάτωσης ενός υποδείγματος μερικής οικονομικής ισορροπίας σε ένα υπόδειγμα γενικής ισορροπίας αναδύεται λόγω των εγγενών παθογενειών της κάθε τεχνικής μοντελοποίησης. Τα μεν υποδείγματα μερικής ισορροπίας είναι πλούσια σε λεπτομέρεια, αλλά πάσχουν ως προς την ενσωμάτωση της ανάδρασης της υπόλοιπης οικονομίας. Αντίθετα, τα μακροοικονομικά υποδείγματα αντιλαμβάνονται την αλληλεπίδραση μεταξύ του ενεργειακού τομέα και της υπόλοιπης οικονομίας, αλλά είναι ελλιπή σε λεπτομέρεια και αδυνατούν να αντιληφθούν με ακρίβεια τις δυνατότητες υποκατάστασης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο τείνουν να υπερεκτιμούν το κόστος προσαρμογής της οικονομίας σε ενεργειακές και περιβαλλοντικές πολιτικές. Ο συγκερασμός των δύο προσεγγίσεων με σκοπό την υπέρβαση των εγγενών προβλημάτων της κάθε μεθόδου είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη υβριδικών υποδειγμάτων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο κλάδος της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τον κλάδο μεταφοράς και διανομής, που μοντελοποιείται όπως κάθε άλλος κλάδος της οικονομίας, και τον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής, του οποίου η ανάδραση δίνεται από την επίλυση ενός *προβλήματος μερικής ισορροπίας*. Ο τελευταίος, δεδομένης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη οικονομία, καθώς και των τιμών ισορροπίας, επιλύει ένα πρόβλημα Μη – Γραμμικού Προγραμματισμού για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για τον καθορισμό της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, του μείγματος καυσίμου του κλάδου καθώς και της επένδυσης για την δημιουργία νέων μονάδων. Για τη συνεπή ενσωμάτωση του μοντέλου στο υπόδειγμα γενικής ισορροπίας το πρόβλημα μερικής ισορροπίας γράφεται ως Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας (*Mixed Complementarity Problem – MCP*). Το συνολικό πρόβλημα γράφεται σε ένα συνεπές πλαίσιο σε μορφή MCP και επιλύεται με τη χρήση του λογισμικού GAMS, ανά πενταετία. Αριθμητική εφαρμογή του υποδείγματος έγινε για την Ελλάδα και μελετήθηκε η περίπτωση της αύξησης της τιμής των εκπομπών ρύπων πέρα από το σενάριο αναφοράς καθώς και η επιδότηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) μέσω της εισαγωγής ενός πρόσθετου φόρου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: ΑΠΕ, Υπόδειγμα Μερικής Ισορροπίας, Υπολογίσιμη Γενική Οικονομική Ισορροπία, Υβριδικά Υποδείγματα, Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ηλεκτροπαραγωγή, Μη Γραμμικός Προγραμματισμός, Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας

Abstract

The scope of this thesis lies on the development and integration of a detailed Bottom-Up model of power supply into a Computable General Equilibrium (CGE) model. The necessity of the integration of a partial equilibrium model into a CGE arises due to the intrinsic drawbacks of each modelling technique. On the one hand, the Bottom-Up models tend to be rich in detail, but lack the feedback of the rest of the economy. On the other hand, CGE models can capture the interactions between energy sector and the rest of the economy, but lack in detail and are unable to perceive the substitution possibilities among different power producing technologies. Therefore, they tend to overestimate the adaptation cost of the economy when energy and environmental policies are implemented. The reconciliation of the two methods in order to transcend the inherent drawbacks of each technique resulted in the development of hybrid models. In the present thesis, the electricity sector is comprised of the transfer and distribution sector, which is modeled as every other sector of the economy, and the power supply sector, whose feedback is given from the solution of a partial equilibrium problem. The latter, given the demand for electricity and the equilibrium prices, solves a Non – Linear Programming (*NLP*) problem for the power market that determines the price of power supply, the fuel mix as well as the demand for investment in new capacity. For the consistent integration of the model into the CGE, the Bottom-Up problem is written as a Mixed Complementarity Problem (*MCP*). The total problem is written in a consistent manner as a MCP and solved using GAMS software, with a five – year time step. The model is numerically implemented for Greece in order to study the rise of the carbon tax and the subsidization of renewable energy producers through the imposition of an excise tax to the consumption of electricity.

Keywords: Bottom-Up, Computable General Equilibrium, CGE, Hybrid Models, MCP, NLP, Power Market, Power Supply

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
1.1.	ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ	21
1.2.	ΑΠΟΠΕΙΡΕΣ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ	23
1.3.	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	26
2	<i>ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....</i>	27
2.1.	<i>ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ</i>	<i>27</i>
2.2.	ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ – ΕΞΑΓΩΓΗ KARUSH KUHN TUCKER ΣΥΝΘΗΚΩΝ 28	
2.3.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – MIXED COMPLEMENTARITY PROBLEMS (MCP)	31
2.4.	ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ MCP – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	32
3	<i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ</i> 37	
3.1.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ 37	
3.2.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	39
3.3.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	41
3.4.	<i>ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</i>	<i>44</i>
3.5.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	48
3.5.1.	<i>Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή</i>	<i>52</i>
3.5.2.	<i>Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού παραγωγού κάθε κλάδου.....</i>	<i>55</i>
3.5.3.	<i>Απόφαση για επένδυση</i>	<i>60</i>
3.5.4.	<i>Η συμπεριφοράς του κράτους</i>	<i>62</i>
3.5.5.	<i>Εξωτερικό εμπόριο</i>	<i>64</i>
3.5.6.	<i>Εξισώσεις Ισορροπίας</i>	<i>66</i>
3.5.7.	<i>Υπολογιστικές μεταβλητές και Κανόνες Μακροοικονομικού Κλεισίματος</i>	<i>67</i>
3.5.8.	<i>Επιλογή του numeraire</i>	<i>69</i>
3.6.	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ – ΚΑΛΕΙΔΟΣΚΟΠΗΣΗ (CALIBRATION)	69
4	<i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....</i>	71
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	71
4.2.	ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΗ – ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	75
4.3.	ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	80

5	ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	83
5.1.	ΑΠΟΠΕΙΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	83
5.2.	ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	85
6	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	97
6.1.	ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	97
6.1.1.	<i>Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο Αναφοράς</i>	97
6.1.2.	<i>Αλλαγές στην αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο Αναφοράς</i>	101
6.1.2.1.	Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο Αναφοράς	101
6.1.2.2.	Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο Αναφοράς	103
6.2.	ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ	103
6.2.1.	<i>Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο 1</i>	103
6.2.2.	<i>Αλλαγές στην Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 1</i>	106
6.2.2.1.	Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 1	106
6.2.2.2.	Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο 1	108
6.3.	ΣΕΝΑΡΙΟ 2: ΕΠΙΛΟΤΗΣΗ ΑΠΕ	109
6.3.1.	<i>Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο 2</i>	109
6.3.2.	<i>Αλλαγές στην Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 2</i>	112
6.3.2.1.	Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 2	112
6.3.2.2.	Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο 2	114
7	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	115
7.1.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
7.2.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	116
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	123
	I. ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΚΤ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ	123
	II. ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΚΤ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ	124
	III. ΚΑΛΕΙΔΟΣΚΟΠΗΣΗ COBB – DOUGLAS ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ	126
	IV. ΚΑΛΕΙΔΟΣΚΟΠΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ CES ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ	127
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	129
	I. ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	129
	II. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	133
	III. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	138
	IV. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	142

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΙ ΠΛΗΡΩΜΕΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΠΙΝΑΚΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ.....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΛΑΔΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΑΥΑ.....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΕΙΚΤΩΝ – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΕΠ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΣ ΦΟΡΟΣ ΚΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ Η.Ε. (€2011/MWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ2112	
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΑΛΛΑΖΟΥΝ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΛΟΙΠΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ).....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΜΕΡΙΔΙΑ ΑΞΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΕΣΜΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ).....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΜΕΡΙΔΙΑ ΑΞΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΣΜΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ).....	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΩΝ ΑΓΑΘΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ)	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΦΟΡΟΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ($txindpr, t$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ.....	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ($txsubpr, t$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΔΑΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ($txdutpr, t$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $nlpowtec, runtime$	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $scaleftec, runtime$	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $invnltec, vtime$	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ($rmdem, t$).....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΑΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ Η.Ε.....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ).....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh).....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011).....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011).....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011).....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011).....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh).....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh).....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh).....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 36: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWh).....	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW).....	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	137

ΠΙΝΑΚΑΣ 40: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ)	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 41: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 42: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 43: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011)	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 44: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011).....	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 45: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 46: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 47: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΤWh).....	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 48: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 49: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh).....	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 50: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh)	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 51: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 52: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWh)	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 53: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW).....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 54: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 55: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ)	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 56: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 57: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΤWh).....	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 58: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 59: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011)	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 60: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011).....	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 61: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 62: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 63: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΤWh).....	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 64: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 65: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh)	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 66: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh)	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 67: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 68: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWh)	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 69: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW).....	146
ΠΙΝΑΚΑΣ 70: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	99
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ (ΜΤΝ) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh) ΑΠΟ ΕΓΧΩΡΙΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥΣ – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	101
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΩΣ ΚΟΜΜΑΤΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	103
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ (ΣΕ ΜΤΝ) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΕΠ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	105
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΡΙΔΙΟΥ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΡΙΔΙΟΥ ΑΠΕ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΜΕΙΓΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (%) - ΣΕΝΑΡΙΟ 1	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1	109
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΞΑΓΩΓΩΝ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1	109
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΑΠΕ (€2011/MWh).....	110
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2	111
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ (ΣΕ ΜΤΝ).....	111
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΕΞΕΛΙΞΗ ΖΗΤΗΣΗΣ Η.Ε. ΓΙΑ ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	112
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΜΕΡΙΔΙΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2	113
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	113
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2	114
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (ΤWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2	114

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΠΙΘΑΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΜΠΗΣ	29
ΣΧΗΜΑ 2: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΓΟΡΑ	33
ΣΧΗΜΑ 3: ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	34
ΣΧΗΜΑ 4: ΚΥΚΛΙΚΗ ΡΟΗ ΑΜΟΙΒΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	49
ΣΧΗΜΑ 5: ΔΕΝΤΡΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ.....	56
ΣΧΗΜΑ 6: ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΟΡΑ	74
ΣΧΗΜΑ 7: ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	86
ΣΧΗΜΑ 8: ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	87

1

Εισαγωγή

1.1. Σύντομη αναδρομή της χρήσης υπολογιστικών υποδειγμάτων στην ανάλυση πολιτικών – βασικές προσεγγίσεις

Η ανάπτυξη υπολογιστικών υποδειγμάτων τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά μιας αγοράς ή μιας οικονομίας αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των διαμορφωτών πολιτικής. Η χρησιμότητά τους εδράζεται κυρίως στη δυνατότητα ποσοτικής αποτίμησης του αντίκτυπου διαφορετικών πολιτικών. Ειδικότερα, για την ανάλυση πολιτικών σχετικών με τις αγορές ενέργειας ακολουθήθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

Κατά την πρώτη προσέγγιση, αναπτύχθηκαν «από πάνω προς τα κάτω» (*Top – Down*) μοντέλα τα οποία οφείλουν την ονομασία τους στο εύρος των αγορών που αναπαρίστανται. Δηλαδή, αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις του συνόλου της οικονομίας, δίχως να δίνουν ωστόσο έμφαση στις ιδιαιτερότητες της κάθε ξεχωριστής αγοράς. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι οδηγούνται ταυτόχρονα όλες οι αγορές σε ισορροπία, κάτι το οποίο τα κατατάσσει στα υποδείγματα «Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας» (*Computable General Equilibrium models - CGE*). Κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι γίνεται αντιληπτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των αγορών του οικονομικού συστήματος καθώς και η αναδιανομή των πόρων και του εισοδήματος. Ωστόσο, ο μικρός βαθμός λεπτομέρειας στους κλάδους της ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστικά προβλήματα, όπως είναι η παραβίαση των θεμελιωδών νόμων της θερμοδυναμικής.

Τα συγκεκριμένα υποδείγματα ξεκίνησαν να αναπτύσσονται στα μέσα της δεκαετίας του 1950¹ με αρχική εφαρμογή τη ρεαλιστικότερη εκτίμηση του αντίκτυπου των διαφορετικών φορολογικών πολιτικών με πιο ενδεικτική τη δουλειά του Harberger². Ωστόσο, η πρώτη εφαρμογή της υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας έγινε από τους Shoven και Whalley³, οι οποίοι προσπάθησαν να αναλύσουν ζητήματα φορολογικών πολιτικών και διεθνούς εμπορίου. Το βασικό τους συμπέρασμα έχει να κάνει με το πόσο διαφέρει το υπολογιζόμενο αντίκτυπο στους διαφορετικούς καταναλωτές σε περίπτωση που κατά τον υπολογισμό του ληφθεί υπόψη η αντίδραση του συνόλου των αποφασίζοντων ενός οικονομικού συστήματος. Η υπολογίσιμη οικονομική ισορροπία, βασισμένη στην υπόθεση πως ο κάθε αποφασίζων ελαχιστοποιεί το κόστος του (για τις επιχειρήσεις) ή μεγιστοποιεί τη χρησιμότητά του (για τους αντιπροσωπευτικούς καταναλωτές) θεωρούνταν ότι αναπαριστούσε καλλίτερα την μικρο-οικονομική απόκρισή τους σε αλλαγές. Ειδικά σε σχέση με τα μακρο-οικονομετρικά μοντέλα⁴.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 τα συγκεκριμένα υποδείγματα αρχίζουν να χρησιμοποιούνται και για την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών. Βασικά τους μειονεκτήματα, πέραν όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, αποτελούσαν τόσο ο απλοποιημένος τρόπος αναπαράστασης των ενεργειακών κλάδων, όσο και η αδυναμία τους να αντιληφθούν θεμελιώδεις αλλαγές στη δομή της οικονομίας. Για παράδειγμα, τις διαφορετικές δυνατότητες υποκατάστασης που μπορεί να προκύψουν μεταξύ των τεχνολογιών ενός ενεργειακού κλάδου λόγω της τεχνολογικής προόδου.

Η δεύτερη προσέγγιση, από την άλλη, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνολογική λεπτομέρεια και στις ιδιαιτερότητες της κάθε αγοράς, αγνοώντας πλήρως την απόκριση της υπόλοιπης οικονομίας σε τυχόν μεταβολές στους ενεργειακούς κλάδους. Τα συγκεκριμένα υποδείγματα μορφοποιούνται ως προβλήματα «μερικής οικονομικής ισορροπίας» (*partial equilibrium models*) του ενεργειακού κλάδου, όπου τα διάφορα κόστη που υπεισέρχονται καθώς και η ζήτηση του κλάδου είναι εξωγενώς καθοριζόμενα. Πιο συγκεκριμένα, γράφονται συνήθως ως προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού⁵ ή μη γραμμικού προγραμματισμού⁶, όπου οι διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής αναπαρίστανται με εξαιρετική λεπτομέρεια, καθώς διαφοροποιούνται τόσο ως προς τα διαφορετικά τους κόστη, όσο και ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι αντιλαμβάνονται

¹ Βλέπε (Borges, 1986).

² Βλέπε (Harberger, 1962).

³ Βλέπε (Shoven & Whalley, 1984).

⁴ Βλέπε (Capros, Caradeloglou, & Mentzas, *An Empirical Assessment of Macroeconometric and CGE approaches in Policy Modeling*, 1990).

⁵ Ευρέως γνωστά μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι τα *MARKAL-TIMES* και *Regional Energy Deployment System (ReEDS)*. Για περισσότερα, βλέπε (Loulou, Goldstein, & Noble, 2004), αλλά και (Short, και συν., 2011).

⁶ Γνωστότερο μοντέλο αυτής της κατηγορίας είναι το PRIMES. Για περισσότερα, βλέπε (Capros, *Summary Description*, 1998).

ρεαλιστικότερα τις δυνατότητες υποκατάστασης που υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής. Όλα τα παραπάνω λαμβάνονται από τεχνο-οικονομικά δεδομένα και η συνήθης γραφή τους είναι ως προβλήματα βελτιστοποίησης όπου ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος λειτουργίας και ανάπτυξης τους δικτύου.

Η αδυναμία της πρώτης προσέγγισης έγινε αντιληπτή εν μέρη λόγω του ζητήματος του «κενού αποδοτικότητας» (*efficiency gap*) και της συζήτησης που ανέκυψε γύρω από το συγκεκριμένο θέμα στις δεκαετίες του 1980 και 1990⁷. Το βασικό πρόβλημα ήταν η ασυνέπεια από τη μία μεταξύ της σύγχρονης και εκτιμώμενης μελλοντικής χρήσης της ενέργειας και από την άλλη της βέλτιστης σύγχρονης και μελλοντικής κατανάλωσης. Ειδικότερα, υποστηρίζεται ότι αυτή η απόκλιση από το άριστο οφείλεται σε μία σειρά από στρεβλώσεις, που κατατάσσονται σε «στρεβλώσεις της αγοράς» (*market failures*) αλλά και σε στρεβλώσεις που δεν οφείλονται στην αγορά (*non market failures*). Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό στα πλαίσια της Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας, μιας και βασική αρχή της είναι η άριστη κατανομή του συνόλου των διαθέσιμων πόρων μέσω των μηχανισμών της αγοράς. Ακόμη, τα μοντέλα αυτά πολλές φορές υπερεκτιμούν το αντίκτυπο των περιβαλλοντικών πολιτικών στην οικονομία, καθώς και το κόστος μετάβασης ενός «μονοπατιού βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης» (*sustainable growth path*) . λόγω ακριβώς της αδυναμίας τους να αντιληφθούν ρεαλιστικά τη δυνατότητα υποκατάστασης που υπάρχει μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών. Αντιθέτως, η δεύτερη προσέγγιση υποεκτιμά το κόστος μετάβασης, ενώ αγνοεί τις μεταβολές στις τιμές.

1.2. Απόπειρες υπέρβασης των μειονεκτημάτων

Αυτοί οι περιορισμοί, προσίδιοι της κάθε απόπειρας μοντελοποίησης, οδήγησαν τους ερευνητές στην προσπάθεια γεφύρωσης του χάσματος, ώστε να εκμεταλλευτούν τα θετικά και των δύο προσεγγίσεων. Οι (Hourcade, Jaccard, Bataille, & Gherzi, 2010) κατατάσσουν όλα τα μοντέλα τα οποία προσπαθούν να υπερβούν αυτές τις δυσκολίες στην κατηγορία των «Υβριδικών Μοντέλων» (*Hybrid Models*), όρο τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς από εδώ και πέρα. Υπό αυτό το πρίσμα, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε, χοντρικά, τα υβριδικά μοντέλα σε τρεις κατηγορίες.

Αρχικά, έγινε προσπάθεια να εμπλουτιστούν τα υπάρχοντα μοντέλα. Στα μεν «από πάνω προς τα κάτω» επιχειρήθηκε να εισαχθεί η διάκριση μεταξύ των τεχνολογιών, χωρίς να αλλάξει ουσιωδώς η δομή τους. Για παράδειγμα, εισήχθη ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι διαφορετικές τεχνολογίες υποκαθίστανται με μικρή ή ακόμα και μηδενική ελαστικότητα υποκατάστασης. Στην τελευταία περίπτωση, εάν τα

⁷ Για περισσότερα σχετικά με το θέμα του «κενού αποδοτικότητας», βλέπε: (Jaffe & Stavins, 1994).

μερίδια των τεχνολογιών δεν δίνονταν εξωγενώς, απαιτούνταν ένας μηχανισμός καθορισμός του μείγματος. Στα δε «από κάτω προς τα πάνω» εισήχθησαν ελαστικότητα αντίδρασης της ζήτησης αλλά και των τιμών, δηλαδή των παραμέτρων που δίνονται εξωγενώς. Σκοπός ήταν να αντιλαμβάνονται, έστω και μερικώς, το πώς οι μεταβολές στους κλάδους της ενέργειας επηρεάζουν αυτές τις παραμέτρους.

Η δεύτερη απόπειρα υπέρβασης των μειονεκτημάτων επικεντρωνόταν στη σύνδεση ήδη υπαρχόντων μοντέλων μερικής ισορροπίας με μακρο-οικονομικά μοντέλα. Σύμφωνα με αυτήν την παράδοση, οι δύο τύποι μοντέλων παρέμειναν ως ήταν και το καθένα έλυνε ξεχωρά από το άλλο το δικό του πρόβλημα αριστοποίησης όπως πριν. Ωστόσο, τα αποτελέσματα του ενός τροφοδοτούνταν ως είσοδοι στο δεύτερο. Η τελική λύση λαμβάνεται ύστερα από έναν ορισμένο αριθμό επαναλήψεων. Συνεπώς, υπήρξε απλώς μια «χαλαρή σύνδεση» (*soft link*) μεταξύ μοντέλων που μορφοποιούνταν σε διαφορετική λογική και όχι μία ενιαία γραφή του προβλήματος αριστοποίησης⁸. Ωστόσο, αυτή η μορφοποίηση πάσχει σε επίπεδο συνέπειας και σύγκλισης μεταξύ των δύο τύπων μοντέλων.

Η τρίτη προσέγγιση ήρθε ως συνέχεια των δύο προηγούμενων, με σκοπό να τις υπερβεί. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη συνολική συνέπεια του οικονομικού συστήματος και για αυτό γίνεται η προσπάθεια γραφής του προβλήματος εντός ενός, συνεπούς πλαισίου μοντελοποίησης. Στόχος είναι η «σκληρή σύνδεση» (*hard link*) μεταξύ των «από πάνω προς τα κάτω» και των «από κάτω προς τα πάνω» υποδειγμάτων⁹. Η δυνατότητα ανάπτυξης τέτοιου τύπου υβριδικών μοντέλων έγινε δυνατή λόγω της εξέλιξης που υπήρξε στους αλγόριθμους επίλυσης των προβλημάτων βελτιστοποίησης¹⁰. Έτσι, έγινε δυνατή η επίλυση των «Προβλημάτων Μικτής Συμπληρωματικότητας» (*Mixed Complementarity Problems*)¹¹, κάτι που κατέστησε δυνατή τη συνεπή ενσωμάτωση της λεπτομέρειας των «από κάτω προς τα πάνω» μοντέλων στα μακρο-οικονομικά υποδείγματα. Τα προβλήματα τα οποία ανακύπτουν σε αυτήν την προσέγγιση έχουν να κάνουν με τις διαστάσεις του υπό λύση προβλήματος, αλλά και της πολυπλοκότητας – άρα του χρόνου επίλυσης που απαιτείται.

Συνεπώς, ο σχεδιαστής του υποδείγματος πρέπει να αποφασίσει ποιά από τις παραπάνω μεθόδους θα χρησιμοποιήσει. Αυτή η απόφαση έχει να κάνει με τις εξής παραμέτρους¹²:

⁸ Αυτή η κατηγοριοποίηση των μοντέλων, που σχετίζεται με τον τρόπο υπέρβασης των δυσκολιών προτάθηκε από τους Bohringer και Rutherford σε μια σειρά άρθρων τους. Ενδεικτικά, σημειώνουμε τα (Bohringer C. , *The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling*, 1998), (Bohringer & Rutherford, 2005) και (Bohringer & Rutherford, Discussion Paper No. 06-007, 2006).

⁹ Βλέπε (Bohringer & Rutherford, Discussion Paper No. 06-007, 2006).

¹⁰ Βλέπε (Dirkse & Ferris, 1993).

¹¹ Βλέπε (Rutherford, 1995).

¹² Η τυποποίηση αυτή προτείνεται από τους (Hourcade, Jaccard, Bataille, & Gherzi, 2010).

- i.** Το υπό εξέταση πρόβλημα: κατά πόσον εξετάζεται το διεθνές ή το περιφερειακό αντίκτυπο μιας πολιτικής.
- ii.** Τον ορίζοντα επίλυσης: εάν ο ορίζοντας επίλυσης είναι τέτοιος που να δικαιολογεί την εισαγωγή λεπτομερειών. Παραδείγματος χάριν, εάν ο ορίζοντας επίλυσης είναι εξαιρετικά μικρός, τότε το μείγμα παραγωγής στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής δεν μπορεί να αλλάξει σημαντικά, λόγω της ήδη υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος. Συνεπώς, δεν έχει νόημα η εισαγωγή λεπτομερειών που θα μελετάει αλλαγές στο μείγμα παραγωγής σε μια τέτοια περίπτωση.
- iii.** Την υπό εξέταση πολιτική: η λεπτομέρεια που εισάγεται θα πρέπει να είναι συνεπής σε σχέση με τις πολιτικές που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα, για την μελέτη των επιπτώσεων ενός φόρου εκπομπών ρύπων στη διεθνή οικονομία απαιτεί λιγότερη λεπτομέρεια στους κλάδους της ενέργειας από ότι εάν μελετάται το αντίκτυπο αυτών των φόρων στους συγκεκριμένους κλάδους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθήθηκε η τρίτη προσέγγιση. Αναπτύχθηκε μακροοικονομικό μοντέλο της ελληνικής οικονομίας, το οποίο βαθμονομήθηκε στα στοιχεία του GTAP v9¹³, με έτος βάσης το 2011. Πρόκειται για μοντέλο ανοιχτής οικονομίας, όπου έχει υιοθετηθεί η υπόθεση της «μικρής χώρας». Συνεπώς, οι τιμές παραγωγής των παραγωγών στο εξωτερικό δίνονται εξωγενώς. Το μοντέλο αποτελείται ακόμη από 11 κλάδους παραγωγής, όπου ο καθένας παράγει ένα αντιπροσωπευτικό προϊόν. Η συμπεριφορά των καταναλωτών γίνεται αντιληπτή μέσω ενός αντιπροσωπευτικού καταναλωτή, ενώ οι επενδύσεις δημιουργούνται αντίστοιχα από έναν αντιπροσωπευτικό κλάδο.

Ο κλάδος της προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τον κλάδο μεταφοράς και διανομής και από τον κλάδο ηλεκτροπαραγωγής. Ο πρώτος μοντελοποιείται όπως όλοι οι υπόλοιποι τομείς της οικονομίας, ενώ η απόκριση του δεύτερου δίνεται από τη λύση ενός προβλήματος μερικής οικονομικής ισορροπίας. Το μοντέλο της ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβάνει δώδεκα διαφορετικές τεχνολογίες, όχι όλες ενεργές το έτος βάσης, οι οποίες ανταγωνίζονται σε έντεκα χρονικά διαστήματα. Τα χρονικά διαστήματα αναφέρονται σε διαφορετικές περιόδους, διαφορετικών εποχών του χρόνου. Η αγορά ηλεκτροπαραγωγής είναι πλήρως ανταγωνιστική, συνεπώς σε κάθε χρονικό διάστημα οι τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής ανταγωνίζονται μεταξύ τους ώστε να καλύψουν τη ζήτηση σε ενέργεια. Τέλος, εφόσον συνδέεται ένα μοντέλο ισορροπίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα μοντέλο όπου το σύνολο των αγορών ισορροπούν, τότε το συνολικό πρόβλημα που έχουμε να επιλύσουμε, είναι ένα

¹³ Για περισσότερα, βλέπε: (Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2015).

«Πρόβλημα Ισορροπίας με Περιορισμούς Ισορροπίας» (Equilibrium Problem with Equilibrium Constraints, E.P.E.C.).

Η επίλυση του μοντέλου κάνει δυνατή την εύρεση της άριστης κατανομής των μονάδων σε κάθε χρονικό διάστημα, αλλά και των επενδύσεων που απαιτούνται σε κάθε περίοδο. Έτσι, πέραν του ρεαλιστικότερου καθορισμού της τιμής του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται δυνατή και η μελέτη του αντίκτυπου των επενδύσεων που απαιτούνται από τον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής στην υπόλοιπη οικονομία. Καθίσταται έτσι δυνατή η μελέτη του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, της υπόλοιπης οικονομίας, αλλά και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.

1.3. Δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η διάρθρωση του κειμένου από εδώ και πέρα έχει ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών στοιχείων της θεωρίας βελτιστοποίησης που απαιτούνται για την ανάλυση που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται ενδελεχώς η δομή του μακροοικονομικού περιβάλλοντος, όπως αυτό μοντελοποιήθηκε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το μοντέλο του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δείχνουμε πώς γίνεται η σύνδεση μεταξύ των δύο τύπων μοντέλων. Δηλαδή, ποιές τιμές και ποσότητες ζήτησης τροφοδοτούνται στο κάθε μοντέλο ξεχωριστά, αλλά και πώς το συνολικό πρόβλημα γράφεται σε ένα, συνεπές πλαίσιο.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αριθμητική εφαρμογή του μοντέλου αρχικά για ένα σενάριο αναφοράς και έπειτα για άλλα 2. Στο πρώτο αυξάνεται ο φόρος στις εκπομπές ρύπων, ενώ στο δεύτερο εφαρμόζουμε ένα πρόγραμμα επιδότησης συγκεκριμένων μονάδων. Τα χρήματα για την επιδότηση συλλέγονται μέσω της εφαρμογής ενός επιπρόσθετου φόρου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο έβδομο κεφάλαιο σχολιάζονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής εφαρμογής του υποδείγματος, με ιδιαίτερη έμφαση στο πώς αυτά διαφοροποιούνται χρησιμοποιώντας αυτού του τύπου τη μορφοποίηση του προβλήματος. Τέλος, δίνονται ορισμένες κατευθύνσεις ως προς την περαιτέρω επέκταση του μοντέλου.

2

Βασικά στοιχεία της θεωρίας βελτιστοποίησης¹⁴

2.1. Γενική μορφή προβλήματος βελτιστοποίησης

Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ή μαθηματικού προγραμματισμού είναι μια μαθηματική οντότητα που επιτρέπει τη μεγιστοποίηση ή την ελαχιστοποίηση ενός στόχου (της *αντικειμενικής συνάρτησης*) δεδομένων ορισμένων περιορισμών οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ισότητες είτε ανισότητες. Οι προς υπολογισμό μεταβλητές ονομάζονται *μεταβλητές απόφασης*. Η λύση του προβλήματος προκύπτει από εκείνες τις τιμές των μεταβλητών απόφασης οι οποίες βελτιστοποιούν τον στόχο και παράλληλα ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς. Στη γενική του μορφή, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης γράφεται ως εξής:

$$\text{Minimize}_z x = f(z)$$

s. t.

¹⁴ Για περισσότερα πάνω σε ζητήματα της θεωρίας βελτιστοποίησης και μαθηματικού προγραμματισμού, βλέπε: (Κάπρος, 2008) και (Gabriel, Conejo, Fuller, Hobbs, & Ruiz, 2012).

$$h(z) = 0$$

$$g(z) \leq 0, \text{ όπου:}$$

$$z \in R^n: \text{ μεταβλητές απόφασης}$$

$$f(z) \in R \rightarrow R: \text{ η αντικειμενική συνάρτηση}$$

$$h(z) \in R^m \rightarrow R^m: \text{ σύνολο ισοτικών περιορισμών}$$

$$g(z) \in R^k \rightarrow R^k: \text{ σύνολο ανισοτικών περιορισμών}$$

Εάν τόσο η αντικειμενική συνάρτηση όσο και οι περιορισμοί γράφονται ως γραμμικές και συνεχείς συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης, τότε το υπό επίλυση πρόβλημα είναι «*γραμμικού προγραμματισμού*». Αντίστοιχα, εάν οποιαδήποτε από τις συναρτήσεις, είτε της αντικειμενικής συνάρτησης είτε των περιορισμών, είναι μη γραμμική ως προς κάποια μεταβλητή απόφασης, τότε το πρόβλημα κατηγοριοποιείται στα προβλήματα «*μη – γραμμικού προγραμματισμού*».

Για τα προβλήματα βελτιστοποίησης, ισχύουν τα παρακάτω:

- Κάθε $z \in R^n$ ονομάζεται *λύση* του προβλήματος βελτιστοποίησης. Εκείνα τα x που ικανοποιούν και τους ισοτικούς αλλά και τους ανισοτικούς περιορισμούς ονομάζονται *εφικτές λύσεις*, ενώ αυτές οι εφικτές λύσεις που ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση ονομάζονται *άριστη λύση*.
- Το σύνολο των λύσεων που ικανοποιούν τους ανισοτικούς και τους ισοτικούς περιορισμούς συγκροτούν τον *χώρο των εφικτών λύσεων*.
- Οι ανισοτικοί περιορισμοί οι οποίοι στη βέλτιστη λύση ικανοποιούνται με ισότητα και άρα είναι δεσμευτικοί, ονομάζονται *ενεργοί περιορισμοί*. Αντίθετα, όσοι ικανοποιούνται με ανισότητα, ονομάζονται *ανενεργοί περιορισμοί*.

2.2. Εύρεση βέλτιστης λύσης – Εξαγωγή Karush Kuhn Tucker συνθηκών

Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης ενός προβλήματος μη γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να γραφεί η συνάρτηση Lagrange και να παρθούν οι συνθήκες πρώτης τάξης. Η συνάρτηση Lagrange ορίζεται ως:

$$L(z, \lambda, \mu) = f(z) + \sum_k \mu_k \cdot h_k(z) + \sum_j \lambda_j \cdot g_j(z)$$

Και οι συνθήκες πρώτης τάξης, προκύπτουν:

$$\frac{\partial L}{\partial z} = \nabla_z f(z) + \sum_k \mu_k^T \cdot \nabla_z h_k(z) + \sum_j \lambda_j^T \cdot \nabla_z g_j(z) \leq 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_k} = h_k(z) = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = g_j(z) \leq 0 \quad (2.3)$$

$z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \mu_k: \text{free}, \text{όπου:}$

μ_k : πολλαπλασιαστικής Lagrange του αντίστοιχου ισοτικού περιορισμού
– δυϊκή μεταβλητή του ισοτικού περιορισμού

λ_j : πολλαπλασιαστικής Lagrange του αντίστοιχου ανισοτικού περιορισμού
– δυϊκή μεταβλητή του ανισοτικού περιορισμού

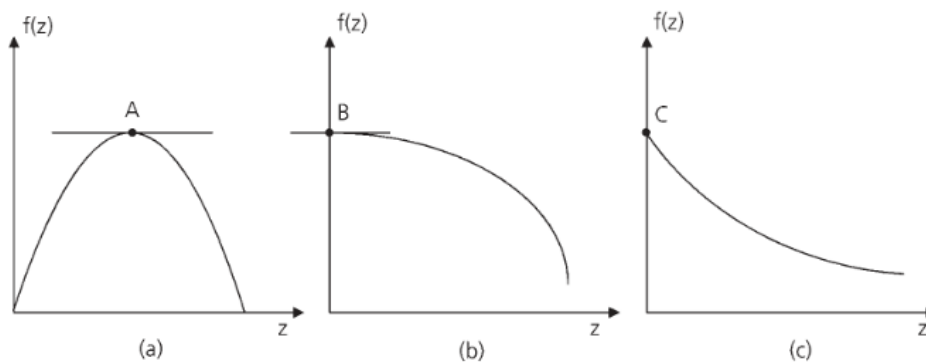
Εάν το z μεγιστοποιεί τη συνάρτηση, τότε είναι σημείο καμπής και για αυτό θα ισχύει¹⁵:

a) $\frac{\partial f(z)}{\partial z} = 0$ και $z > 0$

b) $\frac{\partial f(z)}{\partial z} = 0$ και $z = 0$

c) $\frac{\partial f(z)}{\partial z} < 0$ και $z = 0$

Αυτές οι περιπτώσεις αναπαρίστανται στο σχήμα 1:



ΣΧΗΜΑ 1: ΠΙΘΑΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΜΠΗΣ

Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι για κάθε z που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση $f(z)$, ισχύει ότι: $\frac{\partial f(z)}{\partial z} \leq 0, \quad z \geq 0 \quad \text{και} \quad z \cdot \frac{\partial f(z)}{\partial z} = 0.$

¹⁵ Η ανάλυση έχει παρθεί από (Chiang, 1984).

Κατά αυτόν τον τρόπο, η επίλυση του προβλήματος μη – γραμμικού προγραμματισμού ανάγεται στην επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων, δεδομένων των περιορισμών που σχετίζονται με τις μεταβλητές:

$$z^T \cdot [\nabla_z f(z) + \sum_k \mu_k^T \cdot \nabla_z h_k(z) + \sum_j \lambda_j^T \cdot \nabla_z g_j(z)] = 0 \quad (2.4)$$

$$\lambda^T \cdot g(z) = 0 \quad (2.5)$$

$$\mu^T \cdot h(z) = 0 \quad (2.6)$$

$$g(z) \leq 0 \quad (2.7)$$

$$h_k(z) = 0 \quad (2.8)$$

$$z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \mu_k: free \quad (2.9)$$

Οι σχέσεις (2.5.) – (2.8.) ονομάζονται και *Karush – Kuhn Tucker (KKT)* συνθήκες και είναι συνθήκες τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν ένα ευρύ σύνολο προβλημάτων αριστοποίησης ώστε να έχουν βέλτιστη λύση. Ωστόσο, οι KKT συνθήκες δεν έχουν νόημα για κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις η βέλτιστη λύση δεν μπορεί να ευρεθεί με την παραπάνω μεθοδολογία.

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα σε ποιες περιπτώσεις έχουμε την ευχέρεια να ανάγουμε το πρόβλημα βελτιστοποίησης στην εύρεση και επίλυση των KKT συνθηκών. Για να το κάνουμε αυτό, θα πρέπει να πληρείται κάποια από τις παρακάτω αναγκαίες συνθήκες:

Κριτήριο Γραμμικής Ανεξαρτησίας (Linear Inequality Constraint Qualification - LICQ): οι κλίσεις των ενεργών περιορισμών και οι κλίσεις των ισοτικών περιορισμών είναι γραμμικά ανεξάρτητες στο σημείο που ορίζεται από τη βέλτιστη λύση.

Κριτήριο Mangasarian – Fromowitz (Mangasarian - Fromowitz Constraint Qualification - MFCQ): οι κλίσεις των ενεργών περιορισμών και οι κλίσεις των ισοτικών περιορισμών είναι θετικοί – γραμμικά ανεξάρτητες στο σημείο που ορίζεται από τη βέλτιστη λύση.

Κριτήριο Σταθερής Τάξης (Constant Rank Constraint Qualification - CRCQ): για κάθε υποσύνολο των κλίσεων των ενεργών περιορισμών και των κλίσεων των ισοτικών περιορισμών, η τάξη σε μία περιοχή γύρω από τη βέλτιστη λύση είναι σταθερή.

Κριτήριο ημικανονικότητας (Quasi - Normality Constraint Qualification - QNCO): εάν οι κλίσεις των ενεργών περιορισμών και οι κλίσεις των ισοτικών περιορισμών είναι θετικές – γραμμικά ανεξάρτητες στο σημείο της βέλτιστης λύσης, τότε δεν υπάρχει ακολουθία $x_k \rightarrow x^*$ τέτοιο ώστε: $\mu_k \neq 0 \Rightarrow \mu_k \cdot h_k(z) > 0$ και $\lambda_j \neq 0 \Rightarrow \lambda_j \cdot g_j(z) > 0$.

Συνθήκη Slater (Slatter Condition): για ένα κυρτό πρόβλημα, υπάρχει ένα σημείο x τέτοιο ώστε $h(x) = 0$ και $g_j(x) < 0$ για κάθε j .

Γραμμικότητα των περιορισμών (Linearity Constraints): εάν οι συναρτήσεις των περιορισμών είναι γραμμικές ως προς τις μεταβλητές απόφασης.

Σε κάθε περίπτωση, μπορούμε πάντα να εξετάσουμε εάν πληρείται κάποια ικανή συνθήκη. Έτσι, εάν η αντικειμενική συνάρτηση: $f(z) \in R^n \rightarrow R$ είναι κυρτή συνάρτηση, οι ανισοτικοί περιορισμοί: $g(z) \in R^n \rightarrow R^k$ είναι κυρτές συναρτήσεις και οι ισοτικοί περιορισμοί: $h(z) \in R^n \rightarrow R^j$ είναι γραμμικοί ως προς τις μεταβλητές απόφασης, τότε οι KKT συνθήκες είναι ικανές συνθήκες ώστε η εύρεση της λύσης του συστήματος (2.5.) – (2.8.) να αντιστοιχεί στη λύση του προβλήματος αριστοποίησης.

2.3. Προβλήματα Μεικτής Συμπληρωματικότητας – Mixed Complementarity Problems (MCP)

Εάν μελετήσουμε το παραπάνω πρόβλημα στην πιο γενική του μορφή, τότε αυτό το οποίο κάναμε ήταν να αναχθούμε από ένα τυπικό πρόβλημα γραμμικού ή μη – γραμμικού προγραμματισμού σε ένα Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας (Mixed Complementarity Problem – MCP). Τα προβλήματα μεικτής συμπληρωματικότητας ανάγονται στην εύρεση εκείνων των διανυσμάτων $x \in R^{n_1}$, $y \in R^{n_2}$ τέτοια ώστε για κάθε i και για μία συνάρτηση $F: R^n \rightarrow R^n$, να ισχύει:

$$\bullet \quad F_i(x, y) \geq 0, x_i \geq 0, x_i \cdot F_i(x, y) = 0, i = 1, \dots, n_1 \quad (2.10)$$

$$\bullet \quad F_{j+n_1}(x, y) = 0, y_j: free, j = 1, \dots, n_2 \quad (2.11)$$

Η μεταβλητή x_i είναι *συμπληρωματική* της $F_i(x, y)$ και το ίδιο ισχύει και για τις μεταβλητές y_j και τους αντίστοιχους περιορισμούς $F_{j+n_1}(x, y)$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη βέλτιστη λύση κάποια από τις δύο, η μεταβλητή ή η σχέση, θα μηδενίζεται. Σε αυτήν ακριβώς την ιδιότητα οφείλεται και η ονομασία των προβλημάτων αυτού του τύπου.

Αυτό το οποίο παρατηρούμε είναι ότι μπορούμε να ανάγουμε ένα πρόβλημα μη – γραμμικού προγραμματισμού σε ένα πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας, αρκεί οι KKT συνθήκες του πρώτου να μπορούν να ορισθούν. Δηλαδή, να ισχύει κάποιο από τα κριτήρια που να τις καθιστά αναγκαίες και ικανές ώστε η λύση στο σύστημα των εξισώσεων που προκύπτει από τη γραφή τους να είναι ισοδύναμη με τη βέλτιστη λύση του αρχικού προβλήματος. Για να γίνει καλλίτερα κατανοητή η παραπάνω πρόταση, θα ξαναγράψουμε τις KKT συνθήκες του προβλήματος μη – γραμμικού προγραμματισμού ως ένα σύστημα εξισώσεων της μορφής (2.10), (2.11):

$$\begin{aligned} \bullet \quad & \nabla_z f(z) + \sum_k \mu_k^T \cdot \nabla_z h_k(z) + \sum_j \lambda_j^T \cdot \nabla_z g_j(z) \geq 0, z \geq 0, \\ & z^T \cdot [\nabla_z f(z) + \sum_k \mu_k^T \cdot \nabla_z h_k(z) + \sum_j \lambda_j^T \cdot \nabla_z g_j(z)] = 0 \end{aligned} \quad (2.12.a)$$

$$\bullet \quad -g(z) \geq 0, \lambda \geq 0, \lambda^T \cdot g(z) = 0 \quad (2.12.b)$$

$$\bullet \quad h(z) = 0, \mu: \text{free}, \mu^T \cdot h(z) = 0 \quad (2.13)$$

Πέραν των προβλημάτων μη – γραμμικού προγραμματισμού, μπορούν να γραφούν μια πληθώρα προβλημάτων αριστοποίησης ως προβλήματα μεικτής συμπληρωματικότητας¹⁶, ωστόσο οι παραπάνω αποδείξεις δόθηκαν για τα προβλήματα μη – γραμμικού προγραμματισμού διότι αυτά μας απασχολούν στη συνέχεια.

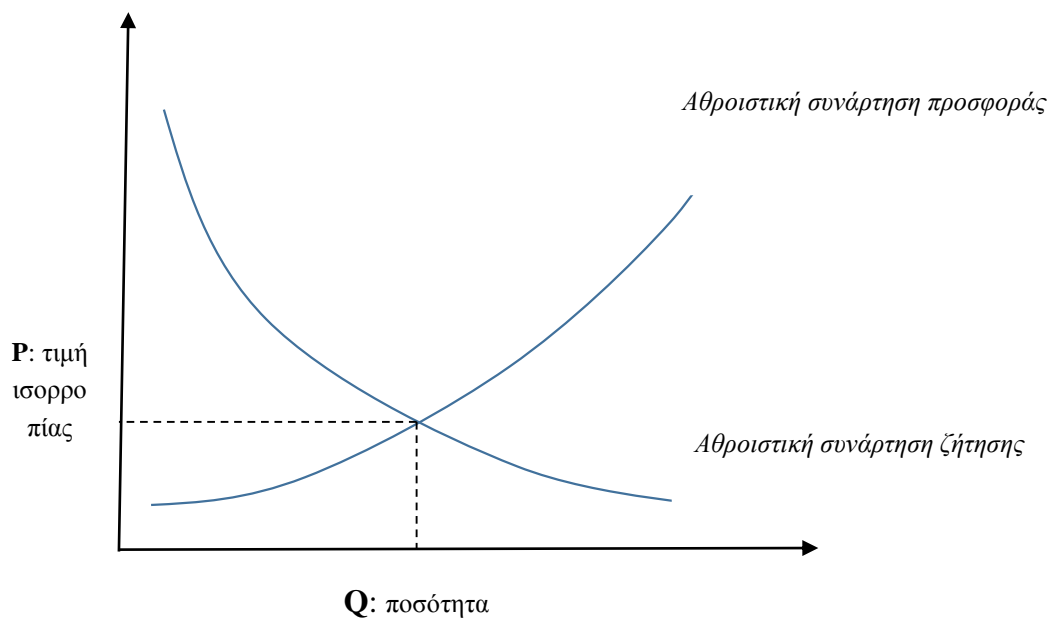
2.4. Χρησιμότητα MCP – Προβλήματα Ισορροπίας

Η χρησιμότητα της παραπάνω γραφής ανάγεται στη δυνατότητα που μας δίνει να καταστρώσουμε ένα πρόβλημα το οποίο είναι ισοδύναμο με το αρχικό πρόβλημα μη – γραμμικού προγραμματισμού και στο οποίο εμφανίζονται ως άγνωστοι τόσο οι μεταβλητές απόφασης, όσο και οι δυικές μεταβλητές των περιορισμών. Το πρόβλημα λύνεται ως ένα τετραγωνικό σύστημα εξισώσεων, στο οποίο κάθε μεταβλητή αντιστοιχίζεται ως συμπληρωματική σε έναν περιορισμό.

Η δυνατότητα του ταυτόχρονου χειρισμού των μεταβλητών απόφασης και των δυικών μεταβλητών των περιορισμών που μας δίνουν τα προβλήματα μεικτής συμπληρωματικότητας είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε ζητήματα οικονομικής φύσης και ιδιαίτερα σε *Προβλήματα Ισορροπίας (Equilibrium Problems)*. Ένα σύστημα λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας αν και μόνον αν δεν έχει κανένα κίνητρο να βρεθεί σε μία διαφορετική κατάσταση. Όμοια, μία αγορά λέμε ότι βρίσκεται σε ισορροπία¹⁷ όταν η ζητούμε και η προσφερόμενη ποσότητα εξισώνονται. Σε αυτό το σημείο διαμορφώνεται η τιμή ισορροπίας, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.:

¹⁶ Βλέπε (Gabriel, Conejo, Fuller, Hobbs, & Ruiz, 2012).

¹⁷ Βλέπε (Varian, 2006), σελ. 29 – 30.



ΣΧΗΜΑ 2: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΓΟΡΑ

Η *αθροιστική συνάρτηση προσφοράς* αποτελείται από εκείνες τις τιμές στις οποίες είναι διατεθειμένοι οι παραγωγοί να πωλήσουν μια ορισμένη ποσότητα. Δημιουργείται από τις καμπύλες οριακού κόστους των παραγωγών, μιας και θα πρέπει να ανακτούν τουλάχιστον αυτό το ποσό ώστε να προσφέρουν μια ποσότητα. Η καμπύλη είναι γνησίως αύξουσα, κάτι που υποδηλώνει ότι όσο περισσότερο παράγουν, τόσο περισσότερο κοστίζει να παράγουν μία επιπλέον μονάδα προϊόντος.

Η *αθροιστική συνάρτηση ζήτησης* αποτελείται από εκείνες τις τιμές στις οποίες είναι διατεθειμένοι οι καταναλωτές να αγοράσουν μια ποσότητα. Εδώ απεικονίζεται η τιμή στην οποία είναι διατεθειμένοι να αγοράσουν μια μονάδα προϊόντος οι καταναλωτές και η συνάρτηση προκύπτει από την αριστοποίηση της χρησιμότητάς τους¹⁸. Η καμπύλη είναι γνησίως φθίνουσα, κάτι που υποδηλώνει ότι όσο περισσότερο αγοράζουν (και άρα καταναλώνουν) τόσο λιγότερη χρησιμότητα αποκομίζουν από την κατανάλωση μιας επιπλέον μονάδας του ίδιου προϊόντος και άρα τόσο λιγότερο διατεθειμένοι είναι να αγοράσουν μια επιπλέον μονάδα.

Στο σημείο τομής των δύο καμπυλών έχουμε το *σημείο ισορροπίας* της αγοράς. Το χαρακτηρίζουμε έτσι διότι σε αυτό το σημείο κανένας από τους παραγωγούς δεν έχει το κίνητρο να παράξει παραπάνω και κανένας από τους καταναλωτές δεν έχει το κίνητρο να καταναλώσει παραπάνω ποσότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή για τους μεν παραγωγούς το οριακό κόστος παραγωγής μιας επιπλέον μονάδας θα υπερβαίνει την οριακή τιμή την οποία είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι καταναλωτές για να την

¹⁸ Βλέπε (Varian, 2006), Κεφάλαιο 14.

αγοράσουν, με αποτέλεσμα να έχουμε *πλεονάζουσα παραγωγή*. Με απλά λόγια, κανένας καταναλωτής δεν θα αγόραζε αυτό τα επιπλέον προϊόν και ο παραγωγός θα ζημιωνόταν. Από την άλλη, για εκείνες τις ποσότητες που είναι μικρότερες από την ποσότητα ισορροπίας οι καταναλωτές είναι διατεθειμένοι να αγοράσουν μια επιπλέον μονάδα προϊόντος σε τιμή που υπερβαίνει το οριακό κόστος παραγωγής της, με αποτέλεσμα να υπάρχει *υπερβάλλουσα ζήτηση* και άρα κίνητρο για τους παραγωγούς να παράξουν παραπάνω. Έτσι, τόσο στα σημεία αριστερά της ισορροπίας όσο και στα δεξιά αυτής οι παραγωγοί και οι καταναλωτές ωθούνται προς την ισορροπία. Με άλλα λόγια, στο σημείο ισορροπίας κανένας δεν έχει κίνητρο να αποκλίνει από αυτό. Στην περίπτωση δε που η τιμή ισορροπίας προκύπτει από την τομή της αθροιστικής συνάρτησης προσφοράς και της αθροιστικής συνάρτησης ζήτησης έχουμε τότε στην αγορά επικρατεί *τέλειος ανταγωνισμός*.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ορίσουμε ένα *Πρόβλημα Ισορροπίας (ΠΙ)* όπως οι Hobbs, κ.α. (Complementarity modeling in energy markets) ως μία μαθηματική οντότητα που αποτελείται από την κοινή μελέτη των ΚΚΤ συνθηκών πολλών, αλληλεξαρτώμενων μεταξύ τους, προβλημάτων βελτιστοποίησης της μορφής:

$$\text{Minimize}_{z_i} x_i = f_i(z^1, \dots, z^n)$$

s. t.

$$h_i(z^1, \dots, z^n) = 0$$

$$g_i(z^1, \dots, z^n) \leq 0, \text{ όπου:}$$

i: αρίθμηση των διαφορετικών προβλημάτων βελτιστοποίησης

Το διάνυσμα $z^i \in R^{n^i}$ περιέχει τις μεταβλητές απόφασης του προβλήματος βελτιστοποίησης *i*. Ορίζοντας $n_T = \sum_i n_i$, τα διαφορετικά προβλήματα καθώς και οι εξισώσεις τους ορίζονται: $f_i: R^{n_T} \rightarrow R$, $h_i: R^{n_T} \rightarrow R^{j^i}$, $g_i: R^{n_T} \rightarrow R^{k^i}$. Σχηματικά, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα Προβλήματα Ισορροπίας ως εξής:



ΣΧΗΜΑ 3: ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω και θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια, η αθροιστική συνάρτηση ζήτησης ενός προϊόντος από πλευράς καταναλωτών και η αθροιστική συνάρτηση προσφοράς από πλευράς παραγωγών προκύπτουν ύστερα από τη λύση των αντίστοιχων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Οι μεν καταναλωτές επιλύουν τον πρόβλημα αριστοποίησης της χρησιμότητάς τους δεδομένου του εισοδηματικού τους περιορισμού και οι δε παραγωγοί επιλύουν το πρόβλημα αριστοποίησης του κέρδους τους δεδομένης της συνάρτησης παραγωγής τους. Συνεπώς, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι μία οικονομία στην οποία έχουμε πληθώρα αγαθών – και άρα παραγωγών – μπορεί να γραφεί ως ένα πρόβλημα ισορροπίας. Εδώ ακριβώς αναδύεται η χρησιμότητα του MCP, μιας και μας επιτρέπει την ταυτόχρονη επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης τόσο των καταναλωτών όσο και των παραγωγών στους διαφορετικούς κλάδους παραγωγής. Αυτό γίνεται δυνατό, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, μέσω της ταυτόχρονης επίλυσης των ΚΚΤ συνθηκών όλων των παραγόντων της οικονομίας. Σε αυτό το σχήμα έχουμε αγνώστους τόσο τις ποσότητες όσο και τις τιμές ισορροπίας σε κάθε αγορά. Οι τιμές, όμως, διαμορφώνονται έτσι ώστε να ισορροπούν την προσφορά και τη ζήτηση της κάθε αγοράς. Με λίγα λόγια, πρόκειται για τη δυική μεταβλητή που σχετίζεται με τον περιορισμό που εξισώνει την προσφορά με τη ζήτηση στην ισορροπία. Οι ίδιες τιμές εμφανίζονται και στα προβλήματα βελτιστοποίησης των άλλων παραγωγών, μιας και πιθανώς το αγαθό (ή παραγωγικός παράγοντας) αυτός χρησιμοποιείται ως είσοδος στην παραγωγή κάποιου άλλου αγαθού και άρα η τιμή αυτή εμφανίζεται στη συνάρτηση οριακού κόστους των άλλων παραγωγών. Δίχως τον ταυτόχρονο χειρισμό των μεταβλητών απόφασης των αρχικών προβλημάτων (ποσοτήτων) καθώς και των δυικών μεταβλητών που σχετίζονται με τους περιορισμούς τους (τιμών) η ταυτόχρονη επίλυση των επί μέρους προβλημάτων που συγκροτούν το πρόβλημα ισορροπίας θα ήταν αδύνατη.

Σε αυτό το κεφάλαιο, πέραν της παρουσίασης των βασικών στοιχείων της θεωρίας βελτιστοποίησης που θα μας φανούν χρήσιμα στη συνέχεια έγινε και μία εισαγωγή σε θέματα αγορών. Ακόμη, αναδείχθηκε η χρησιμότητα της γραφής των προβλημάτων αριστοποίησης ως προβλημάτων μεικτής συμπληρωματικότητας μέσα από τη δυνατότητα που δίνουν εύρεσης της ισορροπίας σε διαφορετικές αγορές ταυτόχρονα. Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα δείξουμε πώς, πατώντας στη θεωρία αυτή, δομήθηκε ένα ολόκληρο υπόδειγμα αναπαράστασης της οικονομίας καθώς και το πώς η ανάπτυξη αυτής έκανε δυνατή την επέκταση του υποδείγματος που προτείνει η παρούσα διπλωματική.

3

Περιγραφή του μοντέλου Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας

3.1. Βασικές αρχές της Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας

Τα υποδείγματα Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας (Computable General Equilibrium – CGE) αποτελούν σημαντικά εργαλεία στα χέρια των διαμορφωτών πολιτικής, λόγω της δυνατότητας ποσοτικής αποτίμησης του αντίκτυπου διαφορετικών πολιτικών. Η δυνατότητά τους να αντιλαμβάνονται τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων μιας οικονομίας, ειδικότερα μεταξύ κλάδων παραγωγής, καταναλωτών και θεσμών (όπως το κράτος), καθώς και της μικρο – οικονομικής απόκρισης του καθενός σε διαφορετικά σοκ κατέστησε τα υποδείγματα αυτά ιδανικά για την ανάλυση μιας σειράς θεμάτων. Η εφαρμογή τους δεν περιορίστηκε σε ζητήματα φορολογικής πολιτικής¹⁹ και διεθνούς εμπορίου²⁰, αλλά σύντομα ακολούθησαν και άλλες απόπειρες ενσωμάτωσης στα αρχικά υποδείγματα λεπτομερειών σχετικών με το υπό εξέταση πρόβλημα²¹.

¹⁹ Βλέπε (Shoven & Whalley, 1984).

²⁰ Shoven & Whalley, Διεθνές εμπόριο

²¹ Για μία συνοπτική παράθεση των αρχικών υποδειγμάτων υπολογίσιμης γενικής οικονομικής ισορροπίας, βλέπε (Παρούσος, 2009).

Η ανάπτυξή τους, όμως, βασίζεται σε ορισμένες θεμελιώδεις αρχές, με βασικότερη το νόμο του Walras, όπως τον ανέπτυξε στο βιβλίο του «*Elements of pure Economics*». Ο Walras υποστήριξε ότι η υπερβάλλουσα προσφορά σε έναν κλάδο της οικονομίας θα πρέπει να ισορροπείται από την υπερβάλλουσα ζήτηση σε άλλους κλάδους, ούτως ώστε το σύνολο των πληρωμών σε μια οικονομία να είναι ίση με το σύνολο των αμοιβών σε αυτήν. Από εκεί ακριβώς απορρέει και ο όρος «γενική» οικονομική ισορροπία, μιας και οδηγούνται σε ισορροπία το σύνολο των αγορών χωρίς κάποια να αποκλίνει.

Η απόδειξη, ωστόσο, της γενικής οικονομικής ισορροπίας δόθηκε σε πρώτη φάση από τους Arrow, Debreu²² οι οποίοι απέδειξαν τη γενική ισορροπία χρησιμοποιώντας το «θεώρημα σταθερού σημείου» («*fixed point theorem*»). Αν και η απόδειξή τους αφορούσε μία απλοποιημένη οικονομία, ήταν αρκετή για να ξεκινήσει η ανάπτυξη μια σειρά υποδειγμάτων καθώς και να δώσει το έναυσμα τόσο για την ανάπτυξη μια σειρά αλγορίθμων που θα έλυναν τέτοιου τύπου προβλήματα, αλλά και στην απόδειξη πιο περίπλοκων προβλημάτων. Συνεπώς, το πρόβλημα της γενικής ισορροπίας ανάγεται στον υπολογισμό εκείνου του διανύσματος των τιμών και των ποσοτήτων οι οποίες ισορροπούν ταυτόχρονα το σύνολο των αγορών. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται τόσο οι αγορές αγαθών, όσο και οι αγορές κεφαλαίου και εργασίας. Η ταυτόχρονη ισορροπία όλων των αγορών αποτελεί τη δεύτερη θεμελιώδη αρχή της γενικής οικονομικής ισορροπίας.

Τέλος, η τρίτη θεμελιώδης αρχή είναι η πλήρης εξάντληση των πόρων μιας οικονομίας. Αυτό σημαίνει, σε συνάφεια με τα παραπάνω, ότι εάν υπάρχει υπερβάλλουσα προσφορά ενός παραγωγικού πόρου, π.χ. του κεφαλαίου, η τιμή του θα προσαρμοστεί αντίστοιχα ώστε να χρησιμοποιηθεί η συνολική διαθέσιμη ποσότητα.

Αυτές οι τρεις βασικές αρχές συγκροτούν τον θεωρητικό πυρήνα των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας τα οποία αναπτύχθηκαν στο εσωτερικό της Νεοκλασικής σχολής σκέψης. Σύμφωνα με αυτό το σχήμα οι τιμές διαμορφώνονται μόνον από την ισορροπία στην αντίστοιχη αγορά. Τυχόν μεταβολές, δηλαδή, οφείλονται σε μεταβολές στην προσφορά ή στην ζήτηση και δρουν ως σήματα προς τους παραγωγούς και τους καταναλωτές. Έτσι, αυτό το οποίο έχει εν τέλει αξία δεν είναι το πραγματικό ύψος των τιμών, αλλά οι σχετικές τιμές. Για παράδειγμα, ένας παραγωγός απαιτεί για την παραγωγή του κεφάλαιο και εργασία. Αυτό το οποίο τον απασχολεί για τον προγραμματισμό της παραγωγής του δεν είναι το ακριβές ύψος της τιμής της εργασίας αλλά η τιμή της εργασίας σε σχέση με την τιμή του κεφαλαίου. Εάν η τιμή της εργασίας αυξηθεί εν σχέση με την τιμή του κεφαλαίου, τότε θα απαιτήσει περισσότερο κεφάλαιο και λιγότερη εργασία από ότι στην προηγούμενη κατάσταση.

Γίνεται αντιληπτό ότι αυτές οι βασικές αρχές θέτουν όρια ως προς την εφαρμογή των μοντέλων αυτών. Έτσι, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 γίνεται η προσπάθεια εμπλουτισμού αυτών των υποδειγμάτων με χαρακτηριστικά που ξεφεύγουν από το

²² Βλέπε (Arrow & Debreu, 1954).

υπόδειγμα της γενικής ισορροπίας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι προσπάθειες εισαγωγής οικονομικών κλίμακος αλλά και ατελούς ανταγωνισμού σε κλάδους της οικονομίας²³.

3.2. Ενεργειακές και Περιβαλλοντικές επεκτάσεις του αρχικού υποδείγματος γενικής ισορροπίας

Τα υποδείγματα αυτά, αν και αρχικά αναπτύχθηκαν για την αξιολόγηση κυρίως δημοσιονομικών πολιτικών, δεν άργησαν να αρχίσουν να χρησιμοποιούνται και σε άλλα πεδία. Η επέκταση των υποδειγμάτων έγινε σε δύο άξονες. Ο ένας είχε να κάνει κυρίως με την εισαγωγή λεπτομέρειας στους ενεργειακούς κλάδους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω και θα δούμε και στη συνέχεια, στην γενική ισορροπία έχουμε μία αφηρημένη αναπαράσταση του κάθε κλάδου. Ειδικότερα, η δυνατότητα ενός κλάδου να επιλέγει μεταξύ δύο ενεργειακών αγαθών (λόγου χάριν μεταξύ δύο διαφορετικών καυσίμων) αποτυπώνεται στην ελαστικότητα υποκατάστασης μεταξύ των δύο (ή περισσότερων) αυτών αγαθών στη συνάρτηση παραγωγής του κλάδου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επηρεάζει ελάχιστα τα αποτελέσματα όταν εξετάζουμε πολιτικές σχετικές με την αγορά εργασίας ή την εξέλιξη του χρέους. Ωστόσο, όταν εξετάζουμε ζητήματα που έχουν να κάνουν παραδείγματος χάριν με την εξέλιξη των εκπομπών ρύπων σε μία χώρα, αυτή η μορφοποίηση της συμπεριφοράς των ενεργειακών αγορών καθίσταται εξαιρετικά απλουστευτική. Αυτό έγινε κατανοητό ήδη από τις αρχές της χρήσης των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας. Άρχισε, λοιπόν, μια προσπάθεια συλλογής συνεπών δεδομένων σε χαμηλότερο επίπεδο από τα αθροιστικά μακρο – οικονομικά δεδομένα των βάσεων δεδομένων. Γίνεται, δηλαδή, μια προσπάθεια να καταστούν συνεπή τα δεδομένα με τα τεχνο – οικονομικά δεδομένα των διάφορων κλάδων. Ακόμη, δεδομένης και της συνεχούς εξέλιξης της υπολογιστικής ικανότητας των υπολογιστών, τα υποδείγματα αρχίζουν να γίνονται πιο λεπτομερή και σε επίπεδο αναπαράστασης της οικονομίας, με την αποσύνθεση υπαρχόντων κλάδων σε περισσότερους. Έτσι, εισάγονται κλάδοι εξόρυξης αλλά και πεπερασμένων πόρων. Ενδεικτικά αναφέρουμε τη δουλειά του (Ghadimi, 2006) ο οποίος διόρθωσε την ατέλεια που είχαν τα συγκεκριμένα υποδείγματα στην άντληση πεπερασμένων πόρων, όπως το πετρέλαιο.

Ο δεύτερος άξονας έχει να κάνει με τις πτυχές της πραγματικότητας τις οποίες αντιλαμβάνεται ένα υπόδειγμα. Ως τώρα έχουμε κουβεντιάσει το πώς το οικονομικό περιβάλλον επηρεάζει το ενεργειακό σύστημα και αντίστροφα. Ωστόσο, το αντίκτυπο των ενεργειακών πολιτικών εν πολλοίς έχει να κάνει και με τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις. Παραδείγματος χάριν, θα ήταν κοντόφθαλμο εάν εξετάζαμε το αντίκτυπο ενός φόρου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μόνον υπό το πρίσμα του όγκου των εκπομπών και των αντίστοιχων εσόδων του κράτους από τον συγκεκριμένο φόρο. Το διοξείδιο του άνθρακα επηρεάζει το περιβάλλον, αυξάνοντας τη μέση θερμοκρασία της

²³ Για την εισαγωγή ατελούς ανταγωνισμού, βλέπε (Roson, 2006).

γης και άρα επηρεάζει παραμέτρους όπως το ύψος της στάθμης της θάλασσας ή την ευφορία εδαφών. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν με τη σειρά τους τόσο τη βιωσιμότητα όσο και την αποδοτικότητα μιας οικονομίας. Υπό αυτό το πρίσμα έγινε μια εκτεταμένη προσπάθεια ενσωμάτωσης και της ανάδρασης του περιβάλλοντος στις διαφορετικές πολιτικές. Σε αυτήν την προσπάθεια εντάσσεται και η ανάπτυξη του υποδείγματος World Induced Technical Change Hybrid Model (WITCH) από τους (Bosseti, Tavoni, De Cian, & Sgobbi, 2009). Το WITCH ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα υποδείγματα γενικής ισορροπίας λόγω της δυνατότητας που έχει να αντιλαμβάνεται το περιβαλλοντικό αντίκτυπο των διαφορετικών πολιτικών. Δηλαδή, το πώς η αύξηση της θερμοκρασίας σε διεθνές επίπεδο επηρεάζεται από την εξέλιξη της οικονομίας και επηρεάζει με τη σειρά της το επίπεδο της παραγωγής.

Εδώ αξίζει να σταθούμε σε ορισμένα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως. Αυτά είναι το General Equilibrium Model – Energy – Economy – Environment (*GEM – E3*)²⁴ και το Emissions Prediction and Policy Analysis (*EPPA*)²⁵. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγουμε να σταθούμε σε αυτά²⁶ τα δύο έχει να κάνει κυρίως με τη της λεπτομέρεια που έχουν στα δεδομένα τους, κάτι που τα καθιστά ιδιαίτερα αξιόπιστα για την αξιολόγηση πολιτικών σχετικών με την περιβαλλοντική αλλαγή. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι όταν αναφερόμαστε σε μοντέλα γενικής ισορροπίας περιοριζόμαστε σε αυτά τα οποία εξετάζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ενεργειακού συστήματος (*energy*), την οικονομία (*economy*) και το περιβάλλον (*environment*). Λόγω της στόχευσης των μοντέλων αυτών, η διαδικασία ανάπτυξης υποδειγμάτων για τη μελέτη συναφών φαινομένων ονομάστηκε «*E3 – Modelling*». Επομένως, όταν λέμε ότι τα δύο παραπάνω υποδείγματα διακρίνονται για την ικανότητά τους να μιμούνται με ακρίβεια την πραγματικότητα, αναφερόμαστε στις περιπτώσεις όπου εξετάζουμε ζητήματα ενεργειακής ή περιβαλλοντικής φύσης.

Το μεν *GEM – E3* είναι ένα μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για χρόνια από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και διάφορες διευθύνσεις αυτής για ζητήματα σχετικά με την περιβαλλοντική αλλαγή, τη φορολόγηση, τον ανταγωνισμό, κ.α. Το *GEM – E3* είναι ένα διαδοχικά – δυναμικό μοντέλο, πολλών χωρών/περιφερειών, το οποίο μπορεί να αξιολογήσει με συνέπεια τα αναδιανεμητικά αποτελέσματα των περιβαλλοντικών πολιτικών και το αντίκτυπό τους στους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Στα χαρακτηριστικά που το κάνουν να ξεχωρίζει μπορούμε να συγκρατήσουμε τη μεγάλη βάση δεδομένων του, την ύπαρξη αρκετών διαφορετικών ενεργειακών κλάδων, καθώς και της ικανότητάς του να αντιλαμβάνεται το πώς η έρευνα και ανάπτυξη επηρεάζουν τη μεγέθυνση της οικονομίας. Το *GEM – E3* λύνει ανά πενταετία και, όντας διαδοχικά

²⁴ Για περισσότερα, βλέπε το εγχειρίδιο του μοντέλου (E3M - Lab, 2012).

²⁵ Για περισσότερα, βλέπε μία συνοπτική παρουσίαση του μοντέλου σε (Babiker, Gurgel, Paltsev, & Reilly, 2008).

²⁶ Άλλα μοντέλα μεγάλης κλίμακας έχουν αναπτυχθεί από οργανισμούς όπως το GTAP, το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο και τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.).

δυναμικό μοντέλο, λύνει με μυωπικές προσδοκίες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι παράγοντες της οικονομίας πιστεύουν πως οι τρέχουσες τιμές είναι τιμές μακροπρόθεσμης ισορροπίας και άρα θα διατηρηθούν ως τέτοιες και στο μέλλον.

Το δε ΕΡΡΑ δίνει την επιλογή στον χρήστη να λύσει στο χρόνο είτε ως διαδοχικό – δυναμικό μοντέλο, είτε ως διαχρονικό μοντέλο²⁷. Η διαφορά μεταξύ των δύο επιλογών έχει να κάνει με το πώς διαμορφώνονται οι προσδοκίες σχετικά με την εξέλιξη της οικονομίας. Στην περίπτωση των αναδρομικών – δυναμικών υποδειγμάτων, οι αποφασίζοντες δεν γνωρίζουν το πώς θα κινηθεί η οικονομία στο μέλλον, παρά μόνον το υποθέτουν. Αντίθετα, στα διαχρονικά – δυναμικά υποδείγματα, οι αποφασίζοντες γνωρίζουν την εξέλιξη της οικονομίας στο μέλλον και άρα οι επιλογές τους σχετικά με την κατανάλωση, την παραγωγή και την αποταμίευση είναι οι άριστες διαχρονικά. Πρόκειται για ένα παγκόσμιο υπόδειγμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση πολιτικών μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Η ουσιώδης διαφορά έχει να κάνει με το ότι οι διαφορετικές υποθέσεις σε σχέση με το μέλλον (πλήρης άγνοια ή τέλεια γνώση) επηρεάζουν τις αποφάσεις για αποταμίευση, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν την εξέλιξη του κεφαλαίου και άρα τη τροχιά μεγέθυνσης της οικονομίας. Έτσι, προσφέρεται για συγκριτική μελέτη ίδιων πολιτικών, υπό διαφορετικές όμως συνθήκες. Το δεύτερο χαρακτηριστικό που το κάνει να ξεχωρίζει είναι η διαφοροποίηση του κεφαλαίου, ανάλογα με το έτος δημιουργίας του. Τέλος, πρόκειται για ένα από τα υποδείγματα μεγάλης κλίμακας στο οποίο τα αποθέματα παραγωγικών πόρων (π.χ. απόθεμα ορυκτών καυσίμων) είναι πεπερασμένα και εξαντλούνται με το πέρασμα του χρόνου.

3.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υποδειγμάτων Υπολογίσιμης Οικονομικής Ισορροπίας

Πριν την ανάπτυξη υποδειγμάτων υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας, τα οποία βασίζονται στη θεωρία βελτιστοποίησης, τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνταν ήταν κυρίως οικονομετρικά, τα οποία έχουν βάση στην στατιστική. Έτσι, ήδη από την αρχή της χρήσης αυτών των εργαλείων και μέχρι και τις μέρες μας βρίσκεται σε εξέλιξη μια μεγάλη διαμάχη μεταξύ των κατασκευαστών υποδειγμάτων ως προς τα μειονεκτήματα και τα προτερήματα της κάθε μεθόδου. Σε αυτήν την παράγραφο θα δούμε τα επιχειρήματα της κάθε πλευράς. Ωστόσο, αν και μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικού τύπου υποδείγματα για να μελετήσουν το ίδιο πρόβλημα, τα αποτελέσματά τους μπορούν κάλλιστα να αποκλίνουν μεταξύ τους. Υποστηρίζουμε, λοιπόν, ότι ανάλογα με τη φύση του ερωτήματος στο οποίο αναζητούμε απάντηση, θα πρέπει ανάλογα να επιλέγουμε και τη μέθοδο με την οποία θα το προσεγγίσουμε.

²⁷ Για ζητήματα σχετικά με διαχρονικά υποδείγματα, βλέπε: (Lau, Phlke, & Rutherford, 2002).

Βασικό πλεονέκτημα της γενικής ισορροπίας είναι η μικροοικονομική θεμελίωση που έχει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συμπεριφορά των παραγόντων της οικονομίας προκύπτει από την επίλυση των αντίστοιχων προβλημάτων βελτιστοποίησης που αντιμετωπίζουν ως προς τις τιμές. Έτσι, στο υπόδειγμα γράφονται σε ένα συνεπές πλαίσιο το σύνολο των προβλημάτων και επιλύονται ταυτόχρονα. Με απλά λόγια, σε οποιαδήποτε μεταβολή συμβαίνει στην οικονομία, οι αποφασίζοντες (καταναλωτές, παραγωγοί, θεσμοί) την αντιλαμβάνονται και προσαρμόζουν αντίστοιχα τη ζήτηση ή την προσφορά τους. Αυτή η μικροοικονομική απόκριση έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορούμε να γνωρίζουμε εκ των προτέρων το ακριβές αποτέλεσμα στο οποίο θα καταλήξει το μοντέλο. Ο λόγος είναι ότι το αποτέλεσμα έχει να κάνει εν πολλοίς με τον τρόπο με τον οποίο οι διαφορετικοί κλάδοι αλληλεπιδρούν στο οικονομικό σύστημα.

Καίτοι τα αποτελέσματα μπορεί να προκαλέσουν εκπλήξεις μερικές φορές, οι βασικές αρχές των οικονομικών δεν παύουν να ισχύουν. Όπως δεν παύει να επιβεβαιώνει τους βασικούς νόμους των κλασικών οικονομικών. Το επιχείρημα βέβαια είναι ταυτολογικό, μιας και οι βασικές αρχές τις οποίες επιβεβαιώνει είναι οι ίδιες πάνω στις οποίες δομείται και σχολιάσαμε στην παράγραφο 3.1. της παρούσας διπλωματικής. Έτσι, για οποιονδήποτε τύπο υποδείγματος, θα πρέπει να έχουμε πάντα υπόψη ότι δεν μπορεί να παράγει αποτελέσματα έξω και πέρα από το πλαίσιο και τη θεωρία στο εσωτερικό της οποίας έχει δομηθεί²⁸.

Το δεύτερο βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητά του να αντιληφθεί το αντίκτυπο των αναδιανεμητικών τάσεων που μπορεί να πυροδοτήσει μια πολιτική. Ακριβώς επειδή γράφονται σε ένα συνεπές πλαίσιο τα προβλήματα των καταναλωτών, των παραγωγών και των θεσμών μιας οικονομίας. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις φορολογικών πολιτικών η απόκριση των καταναλωτών και των παραγωγών στην αύξηση (ή μείωση) της τιμής ενός αγαθού λόγω της αύξησης (ή ελάφρυνσης) ενός φόρου δεν είναι δεδομένη. Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πώς θα κινηθούν και οι υπόλοιπες τιμές, καθώς και από το που θα κατευθυνθούν τα έσοδα (ή τα έξοδα) της πολιτικής αυτής. Αυτό είναι άλλωστε και το βασικών συμπέρασμα των (Shoven & Whalley, 1984), οι οποίοι έδειξαν με ένα απλό υπόδειγμα ότι με την εισαγωγή ενός φόρου στο κεφάλαιο τα έσοδα είναι δραματικά μικρότερα σε σχέση με αυτά τα οποία αφελώς υπολόγιζαν ότι θα έχουν εάν χρησιμοποιούσαν για τους υπολογισμούς ως τιμές ισορροπίας τις τιμές της οικονομίας δίχως την εισαγωγή του φόρου. Ακόμη, συμπεραίνουν, μέσω της χρήσης του μέτρου της *ισοδύναμης μεταβολής* («*Equivalent Variation*») ότι το μέτρο εν τέλει θα μειώσει συνολικά την ικανοποίηση των νοικοκυριών.

²⁸ Για μια πιο εκτενή ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των διαφορετικών υποδειγμάτων, βλέπε (Borges, 1986).

Το τρίτο βασικό πλεονέκτημα, που συνδέεται με το δεύτερο, είναι η δυνατότητα που παρέχει στην αξιολόγηση του κοινωνικού αντίκτυπου των πολιτικών. Αναλυτικότερα, στο υπόδειγμα αναπαρίστανται – με περισσότερη ή λιγότερη λεπτομέρεια, ανάλογα με το υπόδειγμα – τα νοικοκυριά και η κατανάλωσή τους. Έτσι, είναι διακριτό σε κάθε περίοδο το τι καταναλώνουν καθώς και το τα χρησιμότητα λαμβάνουν. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ποσοτικοποιηθούν οι αλλαγές στην κατανάλωση και στην ικανοποίηση που απολαμβάνουν τα νοικοκυριά. Αν και η ίδια η έννοια της «χρησιμότητας» είναι εξαιρετικά αφηρημένη και δύσκολα ποσοτικοποιείται, σίγουρα αντιλαμβάνεται καλλίτερα το όφελος ή τη ζημία που υφίστανται οι καταναλωτές λόγω κάποιας πολιτικής.

Από εκεί και πέρα, τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας δέχονται αρκετή κριτική, κυρίως όσον αφορά τον υπολογισμό των παραμέτρων που εισάγονται εξωγενώς. Τέτοιες είναι οι ελαστικότητες υποκατάστασης μεταξύ των διαφορετικών εισόδων ή οι σταθερές στις συναρτήσεις παραγωγής. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις η μέθοδος της «καλιδοσκοπησης» («*Calibration*») την οποία θα δούμε σε λεπτομέρεια στην παράγραφο 3.6. Συνοπτικά, κατά τη καλιδοσκοπηση χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του έτους βάσης του υποδείγματος για την εξαγωγή των παραμέτρων αυτών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, εάν τα δεδομένα του εν λόγω έτους δεν είναι αντιπροσωπευτικά της διαχρονικής πορείας της οικονομίας, οι παράμετροι να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει π.χ. λόγω κάποιου παροδικού σοκ το οποίο υπέστη η οικονομία και προκάλεσε τη συρρίκνωση κάποιου κλάδου ή την αναδιάρθρωση στο εσωτερικό κάποιου κλάδου. Τα αποτελέσματα του υποδείγματος είναι αρκετά ευαίσθητα σε αυτές τις εισόδους και άρα η λάθος επιλογή του έτους βάσης θα μπορούσε να κοστίσει σε ακρίβεια πρόβλεψης.

Το δεύτερο σημείο κριτικής έχει να κάνει με τη θεμελιώδη αρχή του υποδείγματος ότι όλες οι αγορές βρίσκονται σε ισορροπία. Αυτό είναι κάτι το οποίο δεν επιβεβαιώνεται στην πράξη είτε λόγω ατελειών στην αγορά, είτε λόγω της παρέμβασης του κράτους το οποίο διατηρεί το μονοπώλιο σε ορισμένες αγορές. Κάτι τέτοιο αλλάζει συνολικά την απόκριση ενός κλάδου κατά την εισαγωγή μέτρων πολιτικής και άρα, μέσω της αλληλεπίδρασής του με την υπόλοιπη οικονομία, παράγει λάθος αποτελέσματα.

Τρίτον, τα υποδείγματα αυτά υποθέτουν ότι ύστερα από ένα σοκ οι παραγωγοί και οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται το πλήρες αντίκτυπο του και προσαρμόζουν άμεσα τη συμπεριφορά τους. Υπό αυτήν την έννοια, δεν υπάρχει χώρος για τη μελέτη των βραχυπρόθεσμων, μεταβατικών φαινομένων που παρουσιάζονται ώσπου να φτάσουμε στη νέα ισορροπία και άρα και πάλι δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με απόλυτη ακρίβεια το αντίκτυπο των διαφορετικών πολιτικών. Ακόμη, σε ζητήματα ενεργειακών αγορών είναι αρκετές οι φορές που οι συναρτησιακές μορφές που επιλέγονται δεν εξασφαλίζουν ότι ικανοποιούνται θεμελιώδεις νόμοι της θερμοδυναμικής (Bohringer & Rutherford, 2005) ενώ σε αρκετές περιπτώσεις υπερεκτιμούν το κόστος προσαρμογής σε σενάρια περιβαλλοντικών πολιτικών.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στα υποδείγματα αυτά παίζουν οι κανόνες κλεισίματος που επιλέγονται. Οι κανόνες κλεισίματος θα πρέπει να έχουν νόημα, αλλά και να είναι τέτοιοι που να προσομοιάζουν την πραγματικότητα. Παραδείγματος χάριν, εάν μια χώρα εμφανίζει συστηματικά ελλείμματα στον ετήσιο προϋπολογισμό της, δεν έχει νόημα ο κατασκευαστής του υποδείγματος να επιλέξει ως κανόνα κλεισίματος τον ισοζυγισμό του προϋπολογισμού. Συνήθως, ο κανόνας κλεισίματος σχετίζεται με την αναπαράσταση του εξωτερικού εμπορίου και ο συνεπής ορισμός του παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα τελικά αποτελέσματα²⁹.

Συμπερασματικά, τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο, λόγω της μικροοικονομικής τους θεμελίωσης αλλά και της ικανότητάς του να αντιλαμβάνεται τις αναδιανεμητικές ροές που υπάρχουν μεταξύ κλάδων, καταναλωτών και θεσμών. Ωστόσο, η ακρίβειά τους μπορεί να τρωθεί λόγω κακής επιλογής των δεδομένων ή ελλιπούς αναπαράστασης κάποιου κλάδου. Συνεπώς, υποστηρίζουμε ότι τα οικονομετρικά υποδείγματα και τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας είναι συμπληρωματικά σε έναν βαθμό. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα οικονομετρικά υποδείγματα μπορούν να αντιληφθούν καλλίτερα τα μεταβατικά φαινόμενα έως την επίτευξη της ισορροπίας και για αυτόν τον λόγο προτιμώνται για την ανάλυση των βραχυπρόθεσμων επιπτώσεων. Αντίθετα, τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας καταλήγουν σε ένα αποτέλεσμα το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στη μεσοπρόθεσμη ισορροπία μιας αγοράς.

3.4. Μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος

Η μορφοποίηση του οικονομικού προβλήματος γενικής ισορροπίας ως προβλήματος συμπληρωματικότητας έγινε από τον (Mathiesen, Computation of Economic Equilibria by a Sequence of Linear Complementarity Problems, 1985), ο οποίος πρότεινε μάλιστα και μεθόδους επίλυσης ορισμένων περιπτώσεων αυτών των προβλημάτων, όπως π.χ. στην περίπτωση *Προβλημάτων Γραμμικής Συμπληρωματικότητας (Linear Complementarity Problems – LCP)*, σε (Mathiesen, An Algorithm based on a sequence of Linear Complementarity Problems applied to a Walrasian Equilibrium model: An Example, 1987). Ο Mathiesen εξετάζει μια κλειστή οικονομία με m αγορές και n δραστηριότητες με πλήρη ανταγωνιστικές αγορές σε όλους τους κλάδους, όπου η ζήτηση της αγοράς προέρχεται από το πρόβλημα αριστοποίησης των καταναλωτών. Οι καταναλωτές έχουν ένα αρχικό απόθεμα κεφαλαίου και εργασίας, ενώ οι παραγωγοί μεγιστοποιούν το κέρδος τους.

Για $i = 1, \dots, m$ και $j = 1, \dots, n$, έστω:

²⁹ Για μια εισαγωγή στη σημασία των κανόνων κλεισίματος και εναλλακτικούς κανόνες κλεισίματος, βλέπε (Hosoe, Gasawa, & Hashimoto, 2010), κεφάλαιο 7.

$$b_j: \text{διάνυσμα κεφαλαίων} \quad (3.1)$$

$$p_i: \text{διάνυσμα τιμών} \quad (3.2)$$

$$d_i(p): \text{συναρτήσεις ζήτησης} \quad (3.3)$$

$$\pi_j(p): \text{συναρτήσεις μοναδιαίου κέρδους (με σταθερές αποδόσεις κλίμακας)} \quad (3.4)$$

Από τις οποίες, εξάγουμε:

$$\alpha_j(p) = \alpha_{ij}(p) = \frac{\partial \pi_j(p)}{\partial p_i}: \text{το διάνυσμα των σταθερών εισόδου – εξόδου που βελτιστοποιούν το κέρδος των παραγωγών} \quad (3.5)$$

$$y_j: \text{το διάνυσμα του επιπέδου των δραστηριοτήτων} \quad (3.6)$$

$$A = A(p) = [a_1(p), \dots, a_n(p)]: \text{πίνακας σταθερών εισόδου – εξόδου που επαληθεύει τις μοναδιαίες συναρτήσης παραγωγής} \quad (3.7)$$

Επειδή όλες οι συναρτήσεις μοναδιαίου κέρδους είναι ομογενής βαθμού ένα ως προς όλες τις τιμές, ισχύει ότι:

$$\pi_j(p) = (\nabla \pi_j(p))^T \cdot p = a^T \cdot p \quad (3.8)$$

Συνεπώς, στην *ισορροπία σε ανταγωνιστική αγορά* ευρίσκεται ένα διάνυσμα τιμών p^* και ένα διάνυσμα δραστηριοτήτων y^* , τέτοια ώστε:

$$\begin{aligned} &\text{Όλες οι δραστηριότητες έχουν μη μηδενικό κέρδος:} \\ &-A^T \cdot p^* \geq 0 \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} &\text{Κανένα προϊόν δεν βρίσκεται σε υπερβάλλουσα ζήτηση:} \\ &b + A \cdot y^* - d(p^*) \geq 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} &\text{Όλες οι τιμές και τα επίπεδα δραστηριοτήτων είναι θετικές/α:} \\ &p^* \geq 0, y^* \geq 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} &\text{Μία δραστηριότητα η οποία έχει έλλειμμα δεν λειτουργεί. Κάθε} \\ &\text{δραστηριότητα που λειτουργεί έχει μηδενικό κέρδος:} \\ &(A^T \cdot p^*)^T \cdot y^* = 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} &\text{Ένα προϊόν που βρίσκεται σε υπερβάλλουσα προσφορά έχει μηδενική τιμή.} \\ &\text{Θετική τιμή σημαίνει ότι η προσφορά είναι ίση με τη ζήτηση:} \\ &p^{*T} \cdot (b + A \cdot y^* - d(p^*)) = 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Η ισοδυναμία με τα προβλήματα μεικτής συμπληρωματικότητας που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.3. είναι εμφανής. Αρκεί να παρατηρήσουμε ότι όπου x στην εξίσωση (2.10) είναι οι μεταβλητές p, y και όπου $x_i \cdot F_i(x) = 0$ είναι οι εξισώσεις

(3.12), (3.13). Ωστόσο, ο Mathiesen περιορίστηκε σε προβλήματα γραμμικής συμπληρωματικότητας, όπου το σύστημα των εξισώσεων (3.9) – (3.13) αποτελείται από εξισώσεις που είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες τιμές και ποσότητες.

Η γραφή και επίλυση προβλημάτων μεικτής συμπληρωματικότητας έγινε δυνατή έπειτα από την ανάπτυξη του αλγορίθμου PATH από τους (Dirkse & Ferris, 1993). Έτσι, η πρώτη απόπειρα γραφής και επίλυσης ενός προβλήματος γενικής ισορροπίας σε μορφή MCP έγινε από τον (Rutherford, 1995). Όπως συστηματοποίησε σε ύστερα άρθρα του³⁰, βασιζόμενος στην πρότερη δουλειά του Mathiesen, ο Rutherford όρισε το πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας ως εξής:

Έστω οι παρακάτω μεταβλητές απόφασης:

p : μη αρνητικό, n – διάστατο διάνυσμα τιμών όλων των προϊόντων και των παραγόντων παραγωγής

y : μη αρνητικό, m – διάστατο διάνυσμα για το επίπεδο της δραστηριότητας των κλάδων, με σταθερές αποδόσεις κλίμακας («constant – returns – to – scale»).

M : h – διάστατο διάνυσμα των εισοδημάτων των καταναλωτών

ω_k : διάνυσμα αρχικών αποθεμάτων παραγωγικών πόρων

Το σύστημα του Rutherford περιλαμβάνει τις παρακάτω σχέσεις συμπληρωματικότητας:

- Τις εξισώσεις μοναδιαίου οριακού κόστους οι οποίες προκύπτουν από το πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους του αντιπροσωπευτικού παραγωγού. Οι συμπληρωματικές μεταβλητές αυτών των εξισώσεων είναι το διάνυσμα των ποσοτήτων παραγωγής:

$$c_j(p) \geq \pi(p) \perp y_j, \text{ όπου:} \quad (3.14)$$

$c_j(p)$: μοναδιαίο οριακό κόστος του παραγωγού του κλάδου j

$\pi_j(p)$: μοναδιαίο οριακό έσοδο του παραγωγού του κλάδου j

– ισούται με την τιμή στην οποία πωλείται το προϊόν

y_j : ποσότητα παραγωγής κλάδου j

³⁰ Βλέπε (Bohringer & Rutherford, Discussion Paper No. 06-007, 2006).

Αυτό το οποίο συνεπάγεται η παραπάνω εξίσωση είναι ότι ένας ορισμένος κλάδος θα έχει παραγωγή διάφορη του μηδενός όταν και μόνον όταν το οριακό του έσοδο είναι τουλάχιστον ίσο με το οριακό του κόστος. Αυτό μπορεί να συμβεί, δεδομένης της φοράς της ανισότητας, μόνον όταν αυτή ικανοποιείται με ισότητα. Έτσι, όταν το οριακό κόστος παραγωγής μιας μονάδας προϊόντος ισούται με την τιμή στην οποία πωλείται, τότε η παραγωγή του αντίστοιχου κλάδου γίνεται θετική.

- Τις εξισώσεις που εξασφαλίζουν ότι σε κάθε αγορά κανένα προϊόν δεν βρίσκεται σε υπερβάλλουσα ζήτηση:

$$y_j(p) \geq d_j(p) \perp p_j, \text{ όπου:} \quad (3.15)$$

y_j : ποσότητα παραγωγής κλάδου j

d_j : ποσότητα ζήτησης κλάδου j

p_j : τιμή αγοράς αγαθού j

Η παραπάνω σχέση δεν είναι τίποτα παραπάνω από τη σχέση που εξασφαλίζει την ισορροπία σε κάθε αγορά και μας λέει ότι η ζήτηση μπορεί να είναι μικρότερη ή ίση της προσφοράς για κάθε αγαθό j . Η σχέση αυτή στην ισορροπία ικανοποιείται με ισότητα και η συμπληρωματική της μεταβλητή είναι η τιμή στην οποία αγοράζεται και πωλείται το αντίστοιχο αγαθό.

- Τις υπολογιστικές εξισώσεις, οι οποίες δεν έχουν σχέση συμπληρωματικότητας με κάποια μεταβλητή. Ως τέτοια ορίζεται το διάνυσμα των αμοιβών:

$$M_k = p^T \cdot \omega_k \quad (3.16)$$

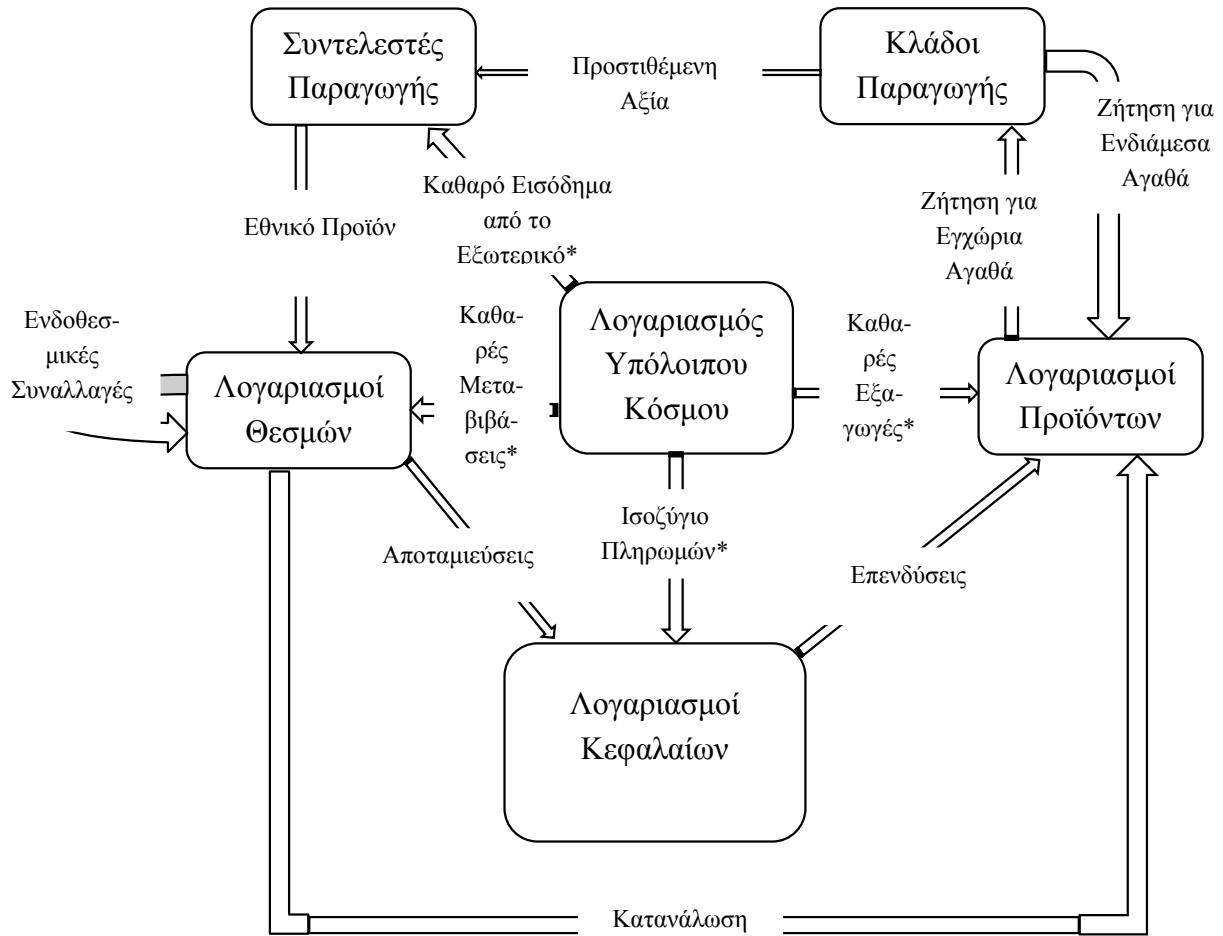
Δηλαδή, η μεταβλητή αυτή δεν είναι η δυική κάποιου περιορισμού του αρχικού προβλήματος βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιούνται απλώς για την ευκολότερη και πιο κατανοητή γραφή του μοντέλου.

Η συστηματοποίηση που πρότεινε ο Rutherford επικράτησε, με αποτέλεσμα η μεγαλύτερη πλειοψηφία των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας να επιλέγουν αυτόν τον τύπο γραφής. Η μορφοποίηση αυτή ακολουθήθηκε κατά την ανάπτυξη και του παρόντος μοντέλου. Σαφώς, η αναπαράσταση της οικονομίας εμπλουτίστηκε με περισσότερη λεπτομέρεια στο κομμάτι των συναρτήσεων παραγωγής σε σχέση με το απλοποιημένο υπόδειγμα που προτείνει ο Rutherford στα άρθρα του.

3.5. Χαρακτηριστικά του μοντέλου

Τα υποδείγματα γενικής οικονομικής ισορροπίας μπορούν και αντιλαμβάνονται τόσο τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών τομέων της οικονομίας όσο και τα αναδιανεμητικά αποτελέσματα διαφορετικών πολιτικών. Αυτή η κυκλική ροή εμπορευμάτων και αμοιβών στην οικονομία αποτυπώνεται στον *Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής* («*Social Accounting Matrix*») μιας χώρας³¹. Πιο συγκεκριμένα, οι Πίνακες Κοινωνικής Λογιστικής είναι «μία βάση δεδομένων της συνολικής οικονομίας που αποτυπώνει την κυκλική ροή πόρων που σχετίζονται με όλες τις συναλλαγές που έχουν λάβει χώρα μεταξύ των οικονομικών παραγόντων σε μια οικονομία, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο» (PROVIDE, 2003). Πρόκειται, δηλαδή, για έναν πίνακα ο οποίος αποτελεί μια «στατική» εικόνα της πραγματικότητας, μιας και απαθανατίζει τις συναλλαγές σε ένα ορισμένο χρονικό παράθυρο. Οι Πίνακες Κοινωνικής Λογιστικής δεν αντικατοπτρίζουν μόνον τις συναλλαγές μεταξύ των κλάδων παραγωγής, αλλά κάθε τύπο συναλλαγής. Στο σχήμα 4 μπορούμε να δούμε την κυκλική ροή των αμοιβών:

³¹ Για περισσότερα πάνω στην κατασκευή των Πινάκων Κοινωνικής Λογιστικής, βλέπε (King, 1985).



Σημείωση: Όσες πληρωμές σημαίνονται με (*) μπορεί να κινούνται και προς την αντίθετη κατεύθυνση.

ΣΧΗΜΑ 4: ΚΥΚΛΙΚΗ ΡΟΗ ΑΜΟΙΒΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Για να περιγράψουμε το παραπάνω σχήμα θα υιοθετήσουμε τη σύμβαση, σύμφωνα με την οποία η αρχή του βέλους υποδεικνύει από πού προέρχεται η αμοιβή και ο δείκτης του που καταλήγει. Ακριβώς αντίθετα κινούνται τα προϊόντα. Εφόσον ο πωλητής λαμβάνει τα χρήματα και βρίσκεται στον δείκτη του βέλους, ο αγοραστής βρίσκεται στο άλλο άκρο του βέλους και έτσι πληρώνει μεν τα χρήματα, αλλά εισπράττει το αντίστοιχο αγαθό. Θα εκκινήσουμε από το *Λογαριασμό Προϊόντων*. Τα προϊόντα ζητώνται είτε για *εγχώρια κατανάλωση*, είτε για κατανάλωση στο εξωτερικό (*Καθαρές Εξαγωγές*), είτε από τον κλάδο των *επενδύσεων* για την κατασκευή κεφαλαίου, είτε από τους *εγχώριους κλάδους παραγωγής* ως *ενδιάμεσα αγαθά* στις παραγωγικές διαδικασίες και άρα από εκεί λαμβάνουν τις αμοιβές. Αυτές οι τέσσερις συνιστώσες αποτελούν την *Εγχώρια Ζήτηση*. Τα προϊόντα με τη σειρά τους παράγονται από τους *κλάδους παραγωγής*, στους οποίους και πηγαίνει το σύνολο των αμοιβών που εισπράττουν.

Οι κλάδοι παραγωγής με τη σειρά τους διανέμουν τα έσοδα που έχουν από την πώληση των αγαθών στα ενδιάμεσα αγαθά που χρησιμοποιούν, καθώς και στους συντελεστές παραγωγής (κεφάλαιο, εργασία και αποθέματα πρώτων υλών). Οι παραγωγικοί πόροι είναι αυτοί οι οποίοι παράγουν την προστιθέμενη αξία του προϊόντος και για αυτήν αμείβονται. Μπορούν, μάλιστα, να υπάρχουν και πληρωμές από το εξωτερικό προς τους εγχώριους συντελεστές παραγωγής. Εφόσον οι συντελεστές παραγωγής ανήκουν στα νοικοκυριά, το σύνολο των αμοιβών τους πηγαίνει σε αυτά.

Τα νοικοκυριά, με τη σειρά τους, κάλλιστα θα μπορούσαν να έχουν και εισοδήματα που προέρχονται από μεταβιβάσεις από το εξωτερικό. Έπειτα, οι θεσμικοί παράγοντες της οικονομίας, δηλαδή τα νοικοκυριά και το κράτος, διανέμουν το συνολικό τους εισόδημα είτε προς την κατανάλωση, είτε προς την αποταμίευση. Βέβαια, υπάρχουν και ενδο – θεσμικές συναλλαγές, όπως είναι η φορολόγηση του εισοδήματος των εργαζομένων (από τα νοικοκυριά προς το κράτος) καθώς και μεταβιβάσεις υπό τη μορφή επιδομάτων, παροχών, κ.λπ. (από το κράτος προς τα νοικοκυριά).

Τέλος, ο Λογαριασμός Κεφαλαίων συλλέγει χρήματα από τις αποταμιεύσεις των θεσμικών παραγόντων και όσες προέρχονται από το εξωτερικό και τις μετατρέπει σε επενδύσεις, για τις οποίες απαιτείται να πληρωθούν συγκεκριμένοι κλάδοι της οικονομίας. Αυτές οι συναλλαγές αποτυπώνονται και στον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής, μόνο που εδώ υιοθετείται η σύμβαση σύμφωνα με την οποία οι στήλες του πίνακα δείχνουν από πού προέρχεται η πληρωμή, ενώ οι σειρές δείχνουν που καταλήγει η πληρωμή. Το ύψος της πληρωμής από τη στήλη j στη σειρά i εμφανίζεται στο κελί (i, j) . Από εδώ και πέρα θα υποθέτουμε ότι κάθε κλάδος παράγει έναν και μόνον αγαθό. Με αυτήν την απλοποίηση, μπορούμε να θεωρούμε ως έναν τον Λογαριασμό των Προϊόντων και τον Λογαριασμό των Δραστηριοτήτων. Οι πληρωμές μεταξύ των παραγόντων εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα:

	ΔΡΑΣΤΗ- ΡΙΟΤΗ- ΤΕΣ	ΝΟΙΚΟ- ΚΥΡΙΑ	ΕΤΑΙ- ΡΕΙΕΣ	ΚΥΒΕΡ- ΝΗΣΗ	ΕΠΕΝ- ΔΥΣΕΙΣ	ΥΠΟ- ΛΟΙ- ΠΟΣ ΚΟ- ΣΜΟΣ	ΣΥΝΟ- ΛΟ
ΔΡΑ- ΣΤΗΡΙΟ- ΤΗΤΕΣ	<i>Ενδιάμεση Ζήτηση</i>	<i>Ιδιωτική Κατανάλω- ση</i>	<i>Ιδιωτι- κή Κατανά- λωση</i>	<i>Δημόσια Κατανάλω- ση</i>	<i>Επένδυ-ση</i>	<i>Εξαγω- γές</i>	<i>Εισόδημα Κλάδου</i>
ΠΑΡΑ- ΓΩΓΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕ- ΛΕΣΤΕΣ	<i>Προστιθέμενη Αξία</i>						<i>Εισόδημα Παραγωγικ ών Συντελε- στών</i>
ΚΥΒΕΡ- ΝΗΣΗ	<i>Φόροι (έμμεσοι, περιβαλλοντικ οί φόροι, φόροι στους συντελεστές παραγωγής)</i>	<i>Άμεσοι Φόροι</i>	<i>Άμεσοι Εταιρικ οί Φόροι</i>				<i>Εισόδημα Κράτους</i>
ΥΠΟ- ΛΟΙΠΟΣ ΚΟΣΜΟΣ	<i>Εισαγωγές</i>						<i>Αποστολή εισοδημά- των στο εξωτερικό</i>
ΣΥΝΟΛΟ	<i>Προσφορά Κλάδου</i>	<i>Συνολική Κατανάλω- ση Νοικοκυ- ριού</i>	<i>Συνολι- κή Κατανά- λωση Εται- ρείας</i>	<i>Συνολική Κατανάλω- ση Κυβέρνη- σης</i>	<i>Επενδύ- σεις</i>	<i>Εισοδή- μας από το εξωτερι- κό</i>	

Σημείωση: Το παραπάνω σχήμα έχει παρθεί από (Lofgren, Harris, & Robinson, 2002).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΙ ΠΛΗΡΩΜΕΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΠΙΝΑΚΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ

Αυτό που θα πρέπει απαραίτητως να ισχύει για τους Πίνακες Κοινωνικής Λογιστικής είναι ότι θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένοι. Αυτό σημαίνει ότι οι δραστηριότητες δεν μπορούν να πληρώνουν σε ενδιάμεσα αγαθά και στους παραγωγικούς πόρους χρήματα περισσότερα από αυτά που εισπράττουν από την πώληση των αντίστοιχων αγαθών. Δηλαδή, θα πρέπει το άθροισμα των ποσών σε μια γραμμή (των αμοιβών που εισπράττει ένας κλάδος λόγω της πώλησης του προϊόντος του) να ισούται με το άθροισμα των ποσών σε μια στήλη (των ποσών που πληρώνει για τη δημιουργία του αγαθού). Ωστόσο, λόγω των διαφόρων σφαλμάτων που υπεισέρχονται στη διαδικασία συλλογής των δεδομένων σε μια ολόκληρη οικονομία, αρκετές φορές παρατηρούνται μικρές διαφορές ανάμεσα στις πληρωμές και στις αμοιβές σε κλάδους της οικονομίας. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται μέθοδοι από τη στατιστική ώστε να ισορροπηθεί ο Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής με το ελάχιστο δυνατό αντίκτυπο στη συνολική συνέπεια των δεδομένων³².

³² Για να ισορροπήσει ένας Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι είτε ο αλγόριθμος Ras, είτε η ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων από κάποιο ιδεατό σημείο.

Ο Πίνακας 1 περιγράφει ακριβώς τη δομή του Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν μοντέλο και θα δούμε στη συνέχεια. Πρόκειται για ένα διαδοχικά – δυναμικό, πολύ – τομεακό υπόδειγμα μιας μικρής, ανοιχτής οικονομίας μιας χώρας. Το υπόδειγμα λύνει ανά πενταετία και για τη βαθμονόμησή του χρησιμοποιήθηκε ο Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής της Ελλάδας με έτος βάσης το 2011. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων GTAP 9³³. Το υπόδειγμα περιλαμβάνει 11 κλάδους των οποίων οι συναρτήσεις παραγωγής είναι νεοκλασικές συναρτήσεις σταθερών ελαστικότητας υποκατάστασης (*Constant Elasticity of Substitution – CES*), πλην του κλάδου της προσφοράς ηλεκτρισμού του οποίου η απόκριση δίνεται από ένα υπόδειγμα μερικής οικονομικής ισορροπίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε πώς μορφοποιείται το πρόβλημα των παραγωγών σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους, μιας και τον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής θα τον εξετάσουμε αναλυτικότερα στα Κεφάλαια 4 και 5. Ακόμη, θα δούμε πώς μοντελοποιείται η συμπεριφορά και των υπόλοιπων παραγόντων της οικονομίας, δηλαδή των νοικοκυριών και της κυβέρνησης, αλλά και πώς διαμορφώνεται η απόφαση για επένδυση. Τέλος, να σημειώσουμε ότι, συμβατικά, οι μεταβλητές γράφονται με κεφαλαία, ενώ οι παράμετροι γράφονται με μικρά. Τέλος, οι παράμετροι που σημαίνονται με 0 αντιστοιχούν στις αρχικές τιμές που δίνονται στις αντίστοιχες μεταβλητές κατά τη διαδικασία της προσαρμογής στο έτος βάσης που θα δούμε παρακάτω.

3.5.1. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

Τα νοικοκυριά στο συγκεκριμένο υπόδειγμα αναπαρίστανται ως ένας αντιπροσωπευτικός καταναλωτής. Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής βελτιστοποιεί τη διαχρονική του χρησιμότητα, δεδομένου του συνολικού του εισοδήματος:

$$\text{Min} \sum_{t=0}^{\infty} (1 + stp)^{-t} \cdot \ln(U_t)$$

s. t.

$$\sum_t (1 + r)^{-t} \cdot (pC_t \cdot HC DTOTV_t) = \sum_t (1 + r)^{-t} \cdot (INCHS_t)$$

$$U_t = f(HC DTOTV_t), \text{ όπου:}$$

stp: επιτόκιο προεξόφλησης της μελλοντικής χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

³³ Βλέπε (Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2015).

U_t : Χρησιμότητα αντιπροσωπευτικού καταναλωτή έτους t

r : ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο καταναλωτή

pC_t : μοναδιαίο κόστος κατανάλωσης αντιπροσωπευτικού καταναλωτή έτους t

$HCDTOTV_t$: συνολική κατανάλωση αντιπροσωπευτικού καταναλωτή έτους t

$INCHS_t$: συνολικό διαθέσιμο εισόδημα αντιπροσωπευτικού καταναλωτή έτους t

Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής επιλύει το πρόβλημα βελτιστοποίησης έχοντας μυωπικές προσδοκίες, κάτι που σημαίνει ότι πιστεύει πως η ισορροπία την τρέχουσα περίοδο αντικατοπτρίζει την μεσοπρόθεσμα ισορροπία. Έτσι, υποθέτει ότι οι ποσότητες θα συνεχίσουν να εξελίσσονται με σταθερό ρυθμό αύξησης f . Έτσι, θα ισχύει:

$$\sum_t (1+r)^{-t} \cdot INCHS_t = \sum_t (1+r)^{-t} \cdot (1+f)^t \cdot INCHS_0 = \sum_t \left(\frac{1+r}{1+f}\right)^{-t} \cdot INCHS_0$$

Ο πρώτος παράγοντας στην παραπάνω εξίσωση ισούται με το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο υποθέτουμε ότι είναι ίσο με το πραγματικό επιτόκιο δανεισμού $\frac{1}{r}$, το οποίο σημαίνεται στο υπόδειγμα ως $RLTLR_t$.

Το παραπάνω αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ακολουθώντας την ανάλυση του κεφαλαίου 2, έχουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη διαχρονική χρησιμότητα του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή δεδομένου του περιορισμού εισοδήματος. Θεωρώντας λ_t : τη δυική μεταβλητή του περιορισμού εισοδήματος, η εξίσωση Lagrange, προκύπτει:

$$L = \sum_{t=0}^{\infty} (1+stp)^{-t} \cdot \ln(U_t) + \lambda_t \cdot \sum_t (1+r)^{-t} \cdot (INCHS_t - pC_t \cdot HCDTOTV_t)$$

Οι Συνθήκες Πρώτης Τάξης (First Order Conditions – FOC), προκύπτουν:

$$\frac{\partial L}{\partial HCDTOTV_t} = (1+stp)^{-t} \cdot \frac{1}{HCDTOTV_t} - \lambda_t \cdot (1+r)^{-t} \cdot pC_t = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_t} = (1+r)^{-t} \cdot (INCHS_t - pC_t \cdot HCDTOTV_t) = 0$$

Συνεπώς, εξάγουμε τη σχέση άριστης κατανάλωσης: $HCDTOTV_t = \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-t} \cdot \frac{1}{\lambda_t \cdot pC_t}$

Και αντικαθιστώντας την 1^η συνθήκη 1^{ης} τάξης στην 2^η, λαμβάνουμε:

$$INCHS_t = pC_t \cdot \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-t} \cdot \frac{1}{\lambda_t \cdot pC_t} = \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-t} \cdot \frac{1}{\lambda_t}$$

$$\lambda_t = \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-t} \cdot \frac{1}{INCHS_t}$$

Στη συνέχεια, αντικαθιστώντας τον πολλαπλασιαστή Lagrange του περιορισμού και πάλι πίσω στη σχέση άριστης κατανάλωσης, λαμβάνουμε τη σχέση που καθορίζει την άριστη κατανάλωση κάθε έτους, δεδομένων των προσδοκιών του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή:

$$HCDTOTV_t = \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-2t} \cdot \frac{1}{pC_t} \cdot INCHS_t = \frac{stp}{r} \cdot \frac{1}{pC_t} \cdot INCHS_t \quad (3.17)$$

Από εκεί και πέρα, οι καταναλωτές αποφασίζουν σε ποιο προϊόν θα κατευθυνθεί η κατανάλωσή τους κάθε έτος μέσα από τη συνάρτηση χρησιμότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής επιλύει ένα πρόβλημα αριστοποίησης του κόστους κατανάλωσης, δεδομένης της συνάρτησης ωφέλειάς του. Η *συνάρτηση ωφέλειας* του καταναλωτή αποτελεί μια μαθηματική αποτύπωση των προτιμήσεών του για κάθε έτος t . Αυτή η μορφοποίηση του προβλήματος αντιστοιχεί στην εύρεση της *ζήτησης Hicks (Hicksian Demand)*³⁴. Ως συνάρτηση ωφέλειας του καταναλωτή επιλέγεται η μορφή *Cobb – Douglas*:

$$\text{Min} \sum_{\forall i} pHC_{pr,t} \cdot HCV_{it}$$

s. t.

$$U_t = \prod_{\forall i} HCV_{pr,t}^{\alpha_{pr}}, \text{ όπου:}$$

$pHC_{pr,t}$: τιμή αγοράς του αγαθού i το έτος t

$HCV_{pr,t}$: η κατανάλωση του αγαθού i το έτος t

α_i : συντελεστές προτίμησης συνάρτησης Cobb – Douglas, για τους οποίους ισχύει $\sum_{\forall pr} \alpha_{pr} = 1$.

$tge0_{pr \in ene}$: τεχνική πρόοδος στους ενεργειακούς κλάδους

Εάν $U_t = 1$, τότε υπολογίζεται το κόστος παραγωγής μιας μονάδας προϊόντος.

³⁴ Για περισσότερα, βλέπε (Varian, 2006), κεφάλαιο 5.

Το πρόβλημα του αντιπροσωπευτικού παραγωγού καταλήγει στις εξής ΚΚΤ συνθήκες³⁵:

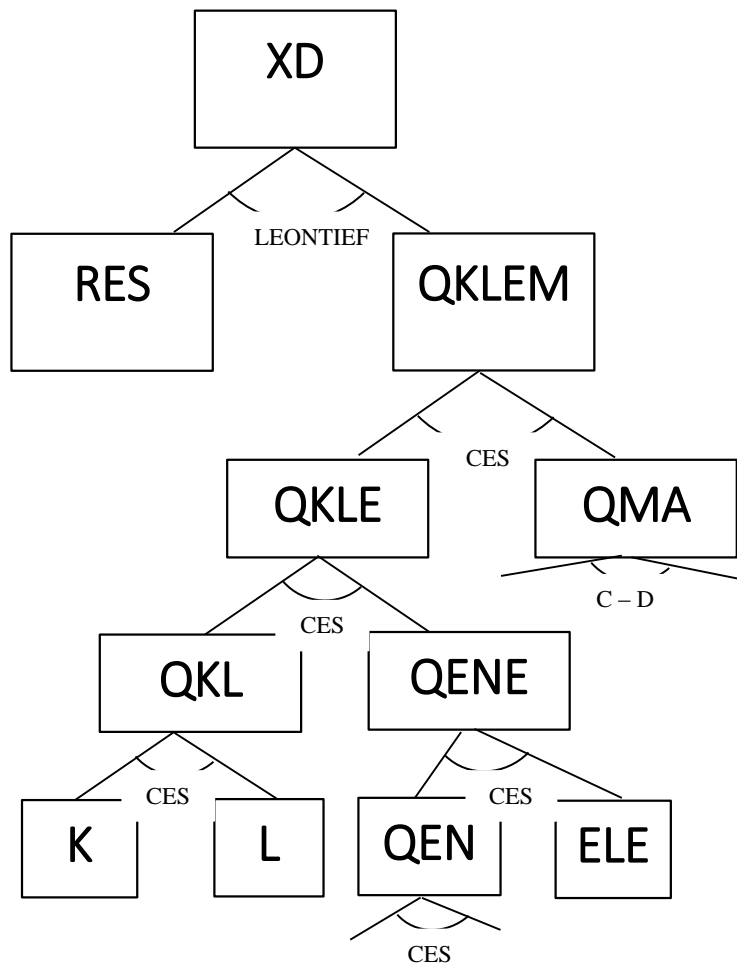
$$pC_t = pc_0 \sum_{\forall pr} \left(\frac{pHC_{pr,t}}{phc_{pr,0}} \cdot e^{-tge_{0pr \in ene,t}} \right)^{a_{hsh,pr}} \quad (3.18)$$

$$HCV_{pr,t} = HCDTOTV_t \cdot a_{pr} \cdot \left(\frac{pc_0}{phc_0} \right) \quad (3.19)$$

3.5.2. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού παραγωγού κάθε κλάδου

Οι παραγωγοί με τη σειρά τους αντιμετωπίζουν το πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής τους, δεδομένης της συνάρτησης παραγωγής τους. Για τις συναρτήσεις παραγωγής των αντιπροσωπευτικών παραγωγών επιλέχθηκε ένα δέντρο που αποτελείται από έναν συνδυασμό των νεοκλασικών συναρτήσεων *Leontief*, *σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης (CES)* και *Cobb – Douglas (C – D)*. Το δέντρο απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:

³⁵ Η απόδειξη δίνεται στο Παράρτημα Α.



ΣΧΗΜΑ 5: ΔΕΝΤΡΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Οι συναρτησιακές μορφές επιλέχθηκαν ούτως ώστε η συμπεριφορά του κλάδου να προσομοιάζει στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, στους κλάδους εξόρυξης (δηλαδή στον κλάδο 3: Εξόρυξη Πετρελαίου) η πρώτη ύλη που προκύπτει από την εξόρυξη δεν μπορεί να υποκατασταθεί και για αυτό επιλέχθηκε Leontief συνάρτηση παραγωγής. Από εκεί κι έπειτα επιλέγονται δέσμες (*bundles*) παραγωγικών πόρων και ενδιάμεσων αγαθών τα οποία, ανάλογα με το επίπεδο, υποκαθίστανται μεταξύ τους. Στην γενική του μορφή, ο αντιπροσωπευτικός παραγωγός κάθε κλάδου καλείται να λύσει το παρακάτω πρόβλημα αριστοποίησης για κάθε περίοδο:

$$\text{Min} \sum_{\forall pr} p_{IO_{pr,br,t}} \cdot IOV_{pr,br,t} + p_{K_t} \cdot KAV_{br,t} + p_{L_t} \cdot LAV_{br,t} + p_{RS_{br,t}} \cdot RES_{br,t}$$

s. t.

$$XD_{br,t} = f(IOV_{pr,br,t}, KAV_{br,t}, LAV_{br,t}, RES_{br,t}, tfp_t), \text{ όπου:}$$

en : σύνολο ενεργειακών προϊόντων, πλην του κλάδου ηλεκτρικής ενέργειας

ene : σύνολο ενεργειακών κλάδων

ma : λοιποί κλάδοι παραγωγής, πλην των ενεργειακών κλάδων

$pIO_{pr,t}$: τιμή αγοράς του αγαθού pr το έτος t

pK_t : τιμή αγοράς κεφαλαίου το έτος t

pL_t : τιμή αγοράς εργασίας το έτος t

$pRS_{br,t}$: οριακό κόστος πρώτης ύλης κλάδου pr το έτος t

$XD_{br,t}$: ύψος παραγωγής του αγαθού pr το έτος t

$IOV_{pr,br,t}$: ζήτηση του αγαθού pr από τον κλάδο br το έτος t

$KAV_{br,t}$: ζήτηση κεφαλαίου από τον κλάδο pr το έτος t

$LAV_{br,t}$: ζήτηση εργασίας από τον κλάδο pr το έτος t

$RES_{br,t}$: ζήτηση πρώτης ύλης από τον κλάδο pr το έτος t

$QKLEM_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KLEM (κεφάλαιο, εργασία, ενεργειακά προϊόντα, λοιπά προϊόντα) το έτος t

$QKLE_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KLE (κεφάλαιο, εργασία, ενεργειακά προϊόντα, λοιπά προϊόντα) το έτος t

$QMA_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού MA (λοιπά προϊόντα) το έτος t

$QKL_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KL (κεφάλαιο, εργασία) το έτος t

$QENE_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού ENE (ενεργειακά προϊόντα) το έτος t

$QEN_{br,t}$: επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού EN (ενεργειακά προϊόντα πλην του ηλεκτρισμού) το έτος t

tfp_t : συνολική παραγωγικότητα της οικονομίας το έτος t

Προτού προχωρήσουμε παραπέρα, να σημειώσουμε ότι με θ σημαίνονται τα μερίδια αξίας της κάθε εισόδου στην εκάστοτε συνάρτηση μοναδιαίοι κόστους. Από αυτό το πρόβλημα προκύπτουν οι παρακάτω ΚΚΤ συνθήκες³⁶:

$$pD_{br,t} = \frac{pd_{br,0}}{tfp_t} \left[\theta_{br,res} \cdot \frac{pRES_{br,t}}{prS_{br,0}} + \theta_{br,klem} \cdot \frac{pKLEM_{br,t}}{pklem_{br,0}} \right] \quad (3.20)$$

$$pKLEM_{br,t} = pKLEklem_{br,0} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left(\theta_{br,ma} \cdot \left(\frac{pMA_{br,t}}{pma_{br,0}} \right)^{1-sklem_{br}} + \theta_{br,kle} \right. \\ & \cdot \left. \left(\frac{pKLE_{br,t}}{pkle_{br,0}} \right)^{1-sklem_{br}} \right)^{\frac{1}{1-sklem_{br}}} \\ pKLE_{br,t} &= pkle_{br,0} \left(\theta_{br,kl} \cdot \left(\frac{pKL_{br,t}}{pkl_{br,0}} \right)^{1-skle_{br}} + \theta_{br,ene} \right. \\ & \cdot \left. \left(\frac{pENE_{br,t}}{pene_{br,0}} \right)^{1-skle_{br}} \right)^{\frac{1}{1-skle_{br}}} \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$pKL_{br,t} = pkl_{br,0} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left(\theta_{br,cap} \cdot \left(\frac{pK_t}{pk_0} \right)^{1-skl_{br}} + \theta_{br,lab} \cdot \left(\frac{pL_t}{pl_0} \right)^{1-skl_{br}} \right)^{\frac{1}{1-skl_{br}}} \\ pMA_{br,t} &= pma_{br,0} \cdot \prod_{\forall pr \in ma} \left(\frac{pIO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} \right)^{apr,ma} \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$pENE_{br,t} = pene_{br,0} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left(\theta_{br,en} \cdot \left(\frac{pEN_{br,t}}{pen_{br,0}} \right)^{1-sene_{br}} + \theta_{br,ene} \right. \\ & \cdot \left. e^{-tge_0(ele,t) \cdot (1-sene_{br})} \cdot \left(\frac{pIO_{ele,t}}{pio_{ele,0}} \right)^{1-ene_{br}} \right)^{\frac{1}{1-sene_{br}}} \end{aligned}$$

$$pEN_{br,t} = pen_{br,0} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left(\sum_{\forall pr \in en} \theta_{br,e} \cdot e^{-tge_0(pr \in en,t) \cdot (1-sen_{br})} \right. \\ & \cdot \left. \left(\frac{pIO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} \right)^{1-sen_{br}} \right)^{\frac{1}{1-sen_{br}}} \end{aligned}$$

³⁶ Η απόδειξη δίνεται στο Παράρτημα Α.

$$IOV_{pr,br,t} = QMA_{br,t} \cdot a_{br,ma} \cdot \left(\frac{pMA_{br,t}}{pIO_{pr,t}}\right) \cdot \left(\frac{pma_{br,0}}{pio_{pr,0}}\right)$$

**Ζήτηση Λοιπών
Αγαθών από τους
Παραγωγούς
(3.27.α)**

$$IOV_{pr,br,t} = QEN_{br,t} \cdot \theta_{br,e} \cdot e^{-tge0_{preene,t} \cdot (1-sen_{br})} \cdot \left(\frac{pen_{br,0}}{pio_{pr,0}}\right)^{1-sen_{br,t}} \cdot \left(\frac{pEN_{br,t}}{pIO_{pr,t}}\right)^{sen_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενεργειακών
Αγαθών από τους
Παραγωγούς
(3.27.β)**

$$IOV_{pr,br,t} = QENE_{br,t} \cdot \theta_{br,ene} \cdot e^{-tge0_{ele,t} \cdot (1-sene_{br})} \cdot \left(\frac{pene_{br,0}}{pio_{ele,0}}\right)^{1-sene_{br,t}} \cdot \left(\frac{pENE_{br,t}}{pIO_{ele,t}}\right)^{sene_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ηλεκτρισμού από
τους Παραγωγούς
(3.27.γ)**

$$KAV_{br,t} = QKL_{br,t} \cdot \theta_{br,cap} \cdot \left(\frac{pKL_{br,0}}{pk_0}\right)^{1-skl_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKL_{br,t}}{pK_t}\right)^{skl_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Κεφαλαίου από
τους Παραγωγούς
(3.28)**

$$LAV_{br,t} = QKL_{br,t} \cdot \theta_{br,lab} \cdot \left(\frac{pKL_{br,0}}{pl_0}\right)^{1-skl_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKL_{br,t}}{pL_t}\right)^{skl_{br,t}}$$

**Ζήτηση Εργασίας
από τους
Παραγωγούς
(3.29)**

$$RES_{br,t} = XD_{br,t} \cdot \theta_{br,res} \cdot \left(\frac{pd_{br,0}}{tfr_{br,0}}\right)$$

**Ζήτηση Πρώτων
Υλών από τους
Παραγωγούς
(3.30)**

$$QKLEM_{br,t} = XD_{br,t} \cdot \theta_{br,klem} \cdot \left(\frac{pd_{br,0}}{tfr_{br,0}}\right)$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης KLEM
από τους
Παραγωγούς
(3.31)**

$$QKLE_{br,t} = QKLEM_{br,t} \cdot \theta_{br,kle} \cdot \left(\frac{pklem_{br,0}}{pkle_{br,0}}\right)^{1-sklem_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKLEM_{br,t}}{pKLE_{br,t}}\right)^{sklem_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης KLE από
τους Παραγωγούς
(3.32)**

$$QKL_{br,t} = QKLE_{br,t} \cdot \theta_{br,kle} \cdot \left(\frac{pkle_{br,0}}{pkl_{br,0}}\right)^{1-skle_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKLE_{br,t}}{pKL_{br,t}}\right)^{skle_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης ΚL από
τους Παραγωγούς
(3.33)**

$$QMA_{br,t} = QKLEM_{br,t} \cdot \theta_{br,ma} \cdot \left(\frac{pklem_{br,0}}{pma_{br,0}}\right)^{1-sklem_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKLEM_{br,t}}{pMA_{br,t}}\right)^{sklem_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης ΜΑ από
τους Παραγωγούς
(3.34)**

$$QENE_{br,t} = QKLE_{br,t} \cdot \theta_{br,ene} \cdot \left(\frac{pkle_{br,0}}{pene_{br,0}}\right)^{1-skle_{br,t}} \cdot \left(\frac{pKLE_{br,t}}{pENE_{br,t}}\right)^{skle_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης ΕΝΕ από
τους Παραγωγούς
(3.35)**

$$QEN_{br,t} = QENE_{br,t} \cdot \theta_{br,en} \cdot \left(\frac{pene_{br,0}}{pen_{ele,0}}\right)^{1-sene_{br,t}} \cdot \left(\frac{pENE_{br,t}}{pEN_{ele,t}}\right)^{sen_{br,t}}$$

**Ζήτηση
Ενδιάμεσης
δέσμης ΕΝ από
τους Παραγωγούς
(3.36)**

Οι 11 κλάδοι απαριθμούνται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΚΛΑΔΟΥ	ΟΝΟΜΑ ΚΛΑΔΟΥ
01	ΓΕΩΡΓΙΑ
02	ΛΙΓΝΙΤΗΣ
03	ΕΞΟΡΥΞΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
04	ΔΙΑΝΟΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
05	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
06	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (Η.Ε.)
07	ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ
08	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
09	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ
10	ΑΛΛΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ
11	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΛΑΔΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

3.5.3. Απόφαση για επένδυση

Όπως αναφέραμε και στην αρχή αυτής της παραγράφου, το υπόδειγμα έχει μυωπικές προσδοκίες ως προς την εξέλιξη στο μέλλον. Αυτό έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διαδικασία λήψης απόφασης σε σχέση με τη διανομή των αποταμιεύσεων σε

επενδύσεις σε διαφορετικά κεφάλαια. Έτσι, το υπόδειγμα αποφασίζει συγκρίνοντας την απόδοση του κάθε κεφαλαίου το έτος t και το κόστος παραγωγής του. Πρόκειται πρακτικά για μια παραλλαγή του q του Tobin³⁷ η οποία προτάθηκε από τους κατασκευαστές του GEM – E3³⁸. Έτσι, η επένδυση σε κάθε κεφάλαιο δίνεται από τη σχέση:

$$INNV_{pr,t} = a_{0inv} \cdot KAV_{pr,t} \cdot \left[\left(\left(\frac{pK_t}{pINV_{pr,t}} \right) \cdot (RLTLR_t + decl_t) \right)^{a_{1inv} \cdot sninv} \right] * (1 + stgr) + (1 - decl_t) \quad \text{Ύψος Επένδυσης (3.37)}$$

Όπου:

a_{0inv} : παράμετρος σχετική με την προσαρμογή του κεφαλαίου

$decl_t$: ποσοστό απόσβεσης κεφαλαίου

a_{1inv} : παράμετρος σχετική με την προσαρμογή του κεφαλαίου

$sninv$: ελαστικότητα σχετική με την ταχύτητα προσαρμογής του κεφαλαίου

$stgr$: υπολογιζόμενη παράμετρος ώστε οι ποσότητες και οι τιμές να είναι συνεπείς στο έτος βάσης

Το κεφάλαιο, με τη σειρά του, φτιάχνεται χρησιμοποιώντας ορισμένες εισόδους, όπως αποτυπώνεται στη συνάρτηση κόστους του:

$$pINV_{pr,t} = \sum_{\forall prr} \theta inv_{prr,pr} \cdot e^{-tge_0(pr \in ene,t)} \cdot pINVP_{prr,t} \quad \text{Οριακό Κόστος Κατασκευής Κεφαλαίου (3.38)}$$

Με $pINVP_{prr,t}$: τιμή αγοράς προϊόντος pr το έτος t

Αντίστοιχα, η ζήτηση για προϊόντων από τους υπόλοιπους κλάδους για την κατασκευή του κεφαλαίου, είναι:

$$INVPV_{prr,pr,t} = INNV_{pr,t} \cdot \theta inv_{prr,pr} \cdot e^{-tge_0(pr \in ene,t)} \cdot \left(\frac{p inv_{pr,0}}{p inv_{prr,0}} \right) \quad \text{Ζήτηση Αγαθών για την κατασκευή Κεφαλαίου (3.39)}$$

³⁷ Βλέπε (Tobin, 1969).

³⁸ Βλέπε (Παρούσος, 2009).

$$INVD_{pr,t} = \sum_{pr} INVPV_{pr,pr,t}$$

**Συνολική Ζήτηση
Αγαθών για την
κατασκευή
Κεφαλαίου
(3.40)**

Όπου:

$INVPV_{pr,pr,t}$: ζήτηση αγαθού pr για την κατασκευή κεφαλαίου pr

$INVD_{pr,pr,t}$: συνολική ζήτηση αγαθού pr για την κατασκευή κεφαλαίου

Ενώ, η εξέλιξη του κεφαλαίου στο χρόνο, είναι:

$$KAVC_{t+T} = (1 - decl_t)^T \cdot KAVC_{t+T} + INVV_{pr,t}$$

**Εξέλιξη του
κεφαλαίου στο
χρόνο
(3.41)**

3.5.4. Η συμπεριφοράς του κράτους

Στο συγκεκριμένο υπόδειγμα η συμπεριφορά του κράτους είναι εξωγενής. Ειδικότερα, το ύψος της συνολικής κατανάλωσης αγαθών δίνεται εξωγενώς, με τη χρήση σταθερών συντελεστών:

$$GCV_{pr,t} = YG_t \cdot e^{-tge^{0pr \in ene,t}} \cdot tech_{dinv}$$

**Ζήτηση
αγαθού pr από
τον Δημόσιο
Τομέα
(3.42)**

Όπου:

$GCV_{pr,t}$: κατανάλωση αγαθού pr από το κράτος, το έτος t

YG_t : συνολική κατανάλωση του κράτους το έτος t

$tech_{dinv}$: τεχνικός συντελεστής που καθορίζει το ύψος της κατανάλωσης

Το κράτος χρηματοδοτεί τα έξοδά του είτε από τα έσοδά του, είτε από δανεισμό. Οι φόροι μπαίνουν στις τιμές, οι οποίες διαμορφώνονται ως εξής:

$$pIO_{pr,t} = pY_{pr,t} \cdot (1 + txind_{pr,t}) + \frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}} \cdot emfCO2_{pr} \cdot txcarb_{pr,t}$$

**Τιμή αγοράς σύνθετου
αγαθού από τις
επιχειρήσεις
(3.43)**

$$pINVP_{pr,t} = pIO_{pr,t}$$

Τιμή αγοράς σύνθετου
αγαθού από τον κλάδο
των επενδύσεων
(3.44)

$$pGC_{pr,t} = pIO_{pr,t}$$

Τιμή αγοράς σύνθετου
αγαθού από τον Δημόσιο
(3.45)

$$pHC_{pr,t} = pIO_{pr,t} \cdot (1 + txvat_{pr,t})$$

Τιμή αγοράς σύνθετου
αγαθού από τους
καταναλωτές
(3.46)

$$pLD_{pr,t} = pL_{pr,t} \cdot (1 + txl_t)$$

Τιμή αγοράς της
εργασίας από τους
κλάδους παραγωγής
(3.47)

$$pXD_{pr,t} = pD_{pr,t} \cdot (1 + txsub_{pr,t})$$

Τιμή αγοράς εγχώριων
προϊόντων από τους
εγχώριους καταναλωτές
(3.48)

Όπου:

$pGC_{pr,t}$: τιμή αγοράς σύνθετου αγαθού από το κράτος

$pHC_{pr,t}$: τιμή αγοράς σύνθετου αγαθού από τους καταναλωτές

$pLD_{pr,t}$: τιμή αγοράς της εργασίας από τους παραγωγούς

$pXD_{pr,t}$: τιμή αγοράς εγχώριων αγαθών από τους εγχώριους καταναλωτές

$txind_{pr,t}$: έμμεσος φόρος στο προϊόν του κλάδου pr

$emfCO2_{pr}$: συντελεστής εκπομπών (για τα καύσιμα – ρυπαντές)

$txcarb_{pr,t}$: φόρος εκπομπών ρύπων – μόνον για τους κλάδους που εκπέμπουν ρύπους

$txvat_{pr,t}$: φόρος κατανάλωσης του προϊόντος pr

txl_t : ασφαλιστικές εισφορές των εργαζομένων

$txsub_{pr,t}$: επιδότηση της παραγωγής του κλάδου pr

3.5.5. Εξωτερικό εμπόριο

Για το εμπόριο με το εξωτερικό υιοθετείται η υπόθεση του Armington σε (Armington, 1969). Ο Armington προτείνει ότι τα εσωτερικώς παραγόμενα προϊόντα με τα εισαγόμενα διαφοροποιούνται ως προς την τιμή. Έτσι, οι καταναλωτές αποφασίζουν ποιο αγαθό θα καταναλώσουν συγκρίνοντας τις τιμές μεταξύ των εγχωρίως παραγόμενων και των εισαγόμενων αγαθών. Λύνουν, δηλαδή, σε αυτό το σημείο, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης της μορφής:

$$\text{Min } C(p) = pIMPOD_{pr,t} \cdot IMPO_{pr,t} + pXD_{pr,t} \cdot XXD_{pr,t}$$

s. t.

$$Y_{pr,t} = (d_{imp,pr} \cdot IMPO_{pr,t}^{\rho_{xdw}} + d_{xxd,pr} \cdot XXD_{pr,t}^{\rho_{xdw}})^{\frac{1}{\rho_{xdw}}}$$

Όπου:

$pIMPOD_{pr,t}$: τιμή αγοράς εισαγόμενου προϊόντος pr από τους εγχώριους καταναλωτές.

$IMPO_{pr,t}$: όγκος εισαγόμενων προϊόντων εγχώριους καταναλωτές.

$XXD_{pr,t}$: όγκος εγχώριων προϊόντων που καταναλώνονται από τους εγχώριους καταναλωτές.

Από αυτό το πρόβλημα προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις ως προς τη ζήτηση των προϊόντων:

$$IMPO_{pr,t} = Y_{pr,t} \cdot \theta_{imp} \cdot \left(\frac{\frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}}}{\frac{pIMPOD_{pr,t}}{pimpod_{pr,0}}} \right)^{sxdw_{pr}} \cdot \left(\frac{pY_{pr,0}}{pimpod_{pr,0}} \right)^{1-sxdw}$$

**Ζήτηση
εισαγόμενων
αγαθών από
τους
εγχώριους
καταναλωτές
(3.49)**

$$XXD_{pr,t} = Y_{pr,t} \cdot \theta_{xxd} \cdot \left(\frac{\frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}}}{\frac{pXXD_{pr,t}}{pXXD_{pr,0}}} \right)^{sxdw_{pr}} \cdot \left(\frac{pY_{pr,0}}{pXXD_{pr,0}} \right)^{1-sxdw_{pr}}$$

**Ζήτηση
εγχώριων
αγαθών από
τους
εγχώριους
καταναλωτές
(3.50)**

$$pY_{pr,t} = \left(\theta_{imp,pr} \cdot \left(\frac{pIMPO_{pr,t}}{pimpo_{pr,0}} \right)^{1-sxdw_{pr}} + \theta_{xxd,pr} \cdot \left(\frac{pXD_{pr,t}}{pXd_{pr,0}} \right)^{1-sxdw_{pr}} \right)^{\frac{1}{1-sxdw_{pr}}}$$

**Τιμή
σύνθετου
αγαθού
(3.51)**

Η τιμή αγοράς των εισαγόμενων αγαθών διαμορφώνεται ως:

$$PWD_{pr,t} = EXR_t \cdot px_{pr,t}$$

**Τιμή
εισαγωγής
εισαγόμενων
αγαθών
(3.52)**

$$pIMPOD_{pr,t} = PWD_{pr,t} \cdot (1 + dut_{pr,t})$$

**Τιμή αγοράς
εισαγόμενων
αγαθών από
τους
εγχώριους
καταναλωτές
(3.53)**

Όπου:

$px_{pr,t}$: το οριακό κόστος παραγωγής του εν λόγω αγαθού από τους παραγωγούς του εξωτερικού σε τιμές εξωτερικού.

EXR_t : ισοτιμία μεταξύ εγχώριου και ξένου νομίσματος.

$PWD_{pr,t}$: το οριακό κόστος παραγωγής του εν λόγω αγαθού από τους παραγωγούς του εξωτερικού σε τιμές εσωτερικού.

$dut_{pr,t}$: δασμοί που πληρώνονται από τα εισαγόμενα προϊόντα

Αντίστοιχη συμπεριφορά θεωρούμε ότι έχουν και οι καταναλωτές του εξωτερικού, οι οποίοι διαμορφώνουν τη ζήτησή τους κατά τον ίδιο τρόπο. Αυτή τους η συμπεριφορά ορίζει την παρακάτω εξίσωση για τις εξαγωγές τις οποίες πρέπει να καλύψουν οι εγχώριοι παραγωγοί:

$$EXPO_{pr,t} = XD_{pr,t} \cdot \theta_{exp,pr} \cdot \left(\frac{pXD_{pr,t}}{pXD_{pr,0}} \cdot \frac{pWD_{pr,t}}{pWD_{pr,0}} \right)^{sxdw_{pr}} \cdot \left(\frac{pXD_{pr,0}}{pWD_{pr,0}} \right)^{1-sxdw_{pr}}$$

**Ζήτηση
εγχώριων
αγαθών από
τους
καταναλωτές
του
εξωτερικού
(3.54)**

3.5.6. Εξισώσεις Ισορροπίας

Σε αυτήν την παράγραφο περιγράφουμε τις εξισώσεις οι οποίες εξασφαλίζουν την ισορροπία στις αγορές εμπορευμάτων και παραγωγικών συντελεστών:

$$XD_{pr,t} = XXD_{pr,t} + EXPO_{pr,t}$$

**Ύψος
συνολικής
παραγωγής
κλάδου pr
(3.55)**

$$Y_{pr,t} = \sum_{br} IOV_{pr,br,t} + HCV_{pr,t} + GCV_{pr,t} + INVD_{pr,t}$$

**Ύψος
συνολικής
ζήτησης
αγαθού pr
(3.56)**

$$TOTKAVC_t \geq \sum_{pr} KAV_{pr,t} \perp pK_t$$

**Το σύνολο
του
ζητούμενου
κεφαλαίου
πρέπει να
είναι
μικρότερο
ίσο του
διαθέσιμου
(3.57)**

$$RESC_{pr,t} \geq RES_{pr,t} \perp pRS_{pr,t}$$

**Η ζήτηση για
πρώτες ύλες
περιορίζεται
από τη
διαθέσιμη
ποσότητα
(3.58)**

$$LAVC_t \geq \sum_{pr} LAV_{pr,t} \pm pL_t$$

Η ζήτηση για
εργασία
περιορίζεται
από τη
συνολικά
διαθέσιμη
(3.59)

3.5.7. Υπολογιστικές μεταβλητές και Κανόνες Μακροοικονομικού Κλεισίματος

Στο υπόδειγμα, πέραν των παραπάνω μεταβλητών που προκύπτουν από την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης κάποιου παράγοντα της οικονομίας, χρησιμοποιούμε και ορισμένες μεταβλητές, χάριν διευκόλυνσης της γραφής του προβλήματος. Αυτές παρατίθεται παρακάτω:

$$INCHS_t = \sum_{pr} pK_t \cdot KAV_{pr,t} + pL_t \cdot LAV_{pr,t} + pRS_{pr,t} \cdot RESC_{pr,t} + \overline{KAVTBU}_{ele,t}$$

Εισόδημα
νοικοκυριών
(3.60)

$$INCGV_t = \sum_{pr} txvat_{pr,t} \cdot pIO_{pr,t} \cdot Y_{pr,t} + \sum_{pr,br} txind_{pr,t} \cdot pY_{pr,t} \cdot [IOV_{pr,br,t} + \overline{IOVT}_{pr,ele,t}] + \sum_{pr} txind_{pr,t} \cdot pY_{pr,t} \cdot [GCV_{pr,t} + HCV_{pr,t} + INVD_{pr,t}] + txsub_{pr,t} \cdot pD_{pr,t} \cdot XD_{pr,t} + tdut_{pr,t} \cdot PWD_{pr,t} \cdot IMPO_{pr,t}$$

Έσοδα του
κράτους (3.61)

$$SAVHS_t = INCHS_t - pC_t \cdot HCDTOTV_t$$

Αποταμιεύσεις
των
νοικοκυριών
(3.62)

$$SAVGV_t = INCGV_t - \sum_{pr,t} pGC_{pr,t} \cdot GCV_{pr,t}$$

Αποταμιεύσεις
του κράτους
(3.63)

$$SAV_t = SAVHS_t + SAVGV_t + FSAV_t$$

Συνολική
αποταμίευση
της
οικονομίας
(3.64)

$$IPI_{rtime} = \frac{\sum_{pr} pINV_{pr,rtime} \cdot INV_{pr,rtime}}{\sum_{pr} pINV_{pr,rtime}}$$

Δείκτης τιμών
επενδυτικών
αγαθών
(3.65)

Όπου: $KAVTBU_{ele,t}$: οι πρόσοδοι από τον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής.

Ως κανόνες μακροοικονομικού κλεισίματος συνήθως περιγράφονται εκείνοι οι περιορισμοί οι οποίοι περιορίζουν την ποσότητα του χρήματος σε μια οικονομία ούτως ώστε να ισχύει πάντα ο *Νόμος του Walras*, όπως αναλύθηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Στο παρόν υπόδειγμα χρειάστηκε να περιορισθούν δύο αγορές: το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών και η αγορά χρήματος. Ο περιορισμός της πρώτης αγοράς μας εξασφαλίζει ότι το συνολικό ποσό των χρημάτων διεθνώς είναι πεπερασμένο και άρα σε οποιοδήποτε σοκ θα πρέπει να μεταβληθεί η ισοτιμία ώστε να εξασφαλίζεται ένα ορισμένο ύψος αποταμιεύσεων στο εξωτερικό. Ο περιορισμός της δεύτερης αγοράς γίνεται μέσω της υπόθεσης ότι οι συνολικές επενδύσεις σε μια οικονομία θα πρέπει να ισούνται με τις συνολικές αποταμιεύσεις αυτής (*μηχανισμός IS – LM*). Αυτό συμβαίνει μέσω του πραγματικού επιτοκίου δανεισμού *RLTLR*. Το συγκεκριμένο επιτόκιο υπεισέρχεται στη συνάρτηση ζήτησης για επενδύσεις (εξίσωση (3.37)) και προσαρμόζει ανάλογα τις επενδύσεις. Αντίστοιχα, το επιτόκιο προσαρμόζει και την προσφορά αποταμίευσης μιας και επηρεάζει την απόφαση του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή (εξίσωση 3.17). Οι δύο αυτοί κανόνες κλεισίματος δίνονται παρακάτω³⁹:

$$FSAV_t = \sum_{pr} pIMPO_{pr,t} \cdot IMPO_{pr,t} - pXD_{pr,t} \cdot EXPO_{pr,t} \perp EXR_t$$

Ισοζύγιο
Τρεχουσών
Συναλλαγών
(3.66)

$$\sum_{pr} pINV_{pr,t} \cdot INV_{pr,t} + \overline{INVTBU}_{ele,t} = SAV_t \perp RLTLR_t$$

IS – LM
(3.67)

Αυτό που θα πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα στην επιλογή των κανόνων κλεισίματος είναι να μην επηρεάζουν την υπό μελέτη πολιτική για την οποία έχει διαμορφωθεί άλλωστε και το υπόδειγμα. Ειδικότερα, θα ήταν αδύνατο να μελετήσουμε το αντίκτυπο μιας πολιτικής στο ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών εάν χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (3.63) ως κανόνα μακροοικονομικού κλεισίματος.

³⁹ Πρόκειται για δύο συνηθισμένες υποθέσεις για μοντέλα αυτής της μορφής. Για περισσότερα πάνω στους κανόνες κλεισίματος, βλέπε (Hosoe, Gasawa, & Hashimoto, 2010).

3.5.8. Επιλογή του numeraire

Το σύστημα των εξισώσεων που αποτελούν το υπόδειγμα είναι ομογενές βαθμού 0 ως προς τις τιμές. Ο *Νόμος του Walras* μας λέει πρακτικά ότι εάν $n - 1$ αγορές βρίσκονται σε ισορροπία, το ίδιο θα συμβαίνει και για τη $n - \text{οστή}$ αγορά. Έτσι, δεν μπορούμε να λύσουμε το σύστημα ώστε να βρούμε το σύνολο των τιμών, αλλά θα πρέπει κάποια από αυτές να τεθεί ως σταθερά. Οι υπόλοιπες τιμές, με τη σειρά τους, δεν έχουν νόημα από μόνες τους, αλλά μόνον σε σχέση με την τιμή αναφοράς. Η τιμή την οποία αποφασίζουμε να θέσουμε ως σταθερά ονομάζεται *numeraire*. Ως *numeraire* στο παρόν υπόδειγμα επιλέχθηκε η τιμή της εργασίας pL .

Όμοια με τους κανόνες κλεισίματος, η επιλογή του numeraire επηρεάζει τα αποτελέσματα και περιορίζει τις εφαρμογές του υποδείγματος. Για παράδειγμα, δεν μπορούμε να μελετήσουμε το αντίκτυπο μιας πολιτικής στην αγορά κεφαλαίου εάν θεωρήσουμε ως δεδομένη την τιμή του κεφαλαίου, μιας και δεν θα είναι σαφείς οι διακυμάνσεις αυτής.

3.6. Προσαρμογή στο έτος βάσης – Καλειδοσκόπηση (Calibration)

Η μέθοδος της «*Προσαρμογής στο έτος βάσης*» (*Calibration*) χρησιμοποιείται κατά κόρον για την εκτίμηση των μεταβλητών στα υποδείγματα γενικής οικονομικής ισορροπίας, όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στα στοιχεία που μας παρέχει ο Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής. Ωστόσο, ο Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής μας παρέχει μόνον τη δομή της οικονομίας, δηλαδή τις διασυνδέσεις μεταξύ των τομέων που προκύπτουν από την κίνηση των αντίστοιχων πληρωμών.. Είναι στην ευχέρεια του κατασκευαστή του υποδείγματος να επιλέξει ποιες συναρτησιακές μορφές θα χρησιμοποιήσει, καθώς και σε τι βαθμό θα βασίσει την εκτίμηση των διάφορων παραμέτρων στη μέθοδο της προσαρμογής στο έτος βάσης ή στην οικονομετρική εκτίμησή τους. Αυτό το οποίο συμβαίνει συνήθως είναι ο συγκερασμός των δύο μεθόδων.

Πιο συγκεκριμένα, συνήθως εκτιμώνται οι διάφορες ελαστικότητες πριν την προσαρμογή στο έτος βάσης. Έπειτα, δεδομένων των συναρτησιακών μορφών που έχουν επιλεγεί, καθώς και των πρότερα ορισμένων στοιχείων, εκτιμώνται μέσω της προσαρμογής οι υπόλοιπες παράμετροι. Η εξαγωγή των προσαρμοσμένων εξισώσεων μοναδιαίου οριακού κόστους και άριστης ζήτησης ενδιάμεσων αγαθών, δεδομένου του Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής, γίνεται για τις δύο βασικές συναρτησιακές μορφές που χρησιμοποιούνται στο υπόδειγμα (*CES* και *Cobb – Douglas*) στο Παράρτημα Α.

Γίνεται αντιληπτό, ωστόσο, ότι τα αποτελέσματα του υποδείγματος γίνονται έτσι εξαιρετικά ευαίσθητα (ανάλογα και με το πλήθος των παραμέτρων που υπολογίζονται με αυτήν τη μέθοδο) στα δεδομένα του έτους βάσης. Συνεπώς, το τελευταίο θα πρέπει

να επιλεγεί προσεκτικά ούτως ώστε να αντικατοπτρίζει τη δομή της οικονομίας για τα επόμενα χρόνια. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου ο Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής έχει φτιαχτεί για μια περίοδο στην οποία η οικονομία διερχόταν μία παροδική κρίση, τα δεδομένα θα αντικατοπτρίζουν μια λάθος εικόνα για την οικονομία διαχρονικά. Πιθανώς να έχουν συμβεί παροδικά φαινόμενα, όπως το να έχει σμικρυνθεί ένας κλάδος σε σχέση με τους υπόλοιπους ή να έχουν συμβεί αναδιαρθρώσεις στο εσωτερικό ενός κλάδου.

Από την άλλη, η οικονομετρική εκτίμηση των αντίστοιχων παραμέτρων πάσχει και αυτή, από τη στιγμή που η λεπτομέρεια των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι δυνατόν να αντληθούν επαρκή και ακριβή δεδομένα για την οικονομετρική εκτίμηση παραμέτρων που αναφέρονται στην εσωτερική λειτουργία των επιχειρήσεων. Αντίστοιχα με πριν, οι παράμετροι – άρα και τα αποτελέσματα του μοντέλου – εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων. Πέραν των μειονεκτημάτων της μεθόδου προσαρμογής στο έτος βάσης, η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό αρκετών παραμέτρων με λίγα δεδομένα και αυτός είναι ο βασικότερος λόγος για τον οποίο βρίσκει ευρεία εφαρμογή.

4

Περιγραφή του μοντέλου Ηλεκτροπαραγωγής

4.1. Εισαγωγή – Το πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής

Η ηλεκτρική ενέργεια, πέραν της ευρείας χρήσης της, έχει και αρκετές ιδιαιτερότητες ως αγαθό. Αρχικά, είναι δύσκολα υποκαταστάσιμη, ενώ εξαιρετικά δύσκολη είναι και η αποθήκευσή της. Μόλις τα τελευταία χρόνια έχει γίνει η προσπάθεια λειτουργίας υβριδικών σταθμών. Πρόκειται συνήθως για αιολικά πάρκα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγουν όταν υπάρχει μεν άνεμος αλλά για διάφορους λόγους δεν είναι (ή δεν θέλουν να είναι λόγω της τιμής αγοράς) συνδεδεμένα στο δίκτυο. Ωστόσο, η ανάπτυξή τους γίνεται σε περιορισμένη κλίμακα προς το παρόν και η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο παρουσιάζει τις δικές της δυσκολίες σε χώρες με ανώριμο σε σχετικά ζητήματα θεσμικό πλαίσιο και άρα το πρόβλημα παραμένει.

Ακόμη, η ελαστικότητα ζήτησης είναι πολύ μικρή σε σχέση με τα υπόλοιπα αγαθά. Έτσι, δεδομένης της αδυναμίας αποθήκευσης, είναι απαραίτητη κάθε στιγμή η εξίσωση της προσφοράς με τη ζήτηση ώστε να μπορεί η αγορά να λειτουργεί ευσταθώς. Στο σημείο αυτό αναδύεται η χρησιμότητα του Ανεξάρτητου Διαχειριστή του Συστήματος, ο οποίος εξασφαλίζει την εκκαθάριση της αγοράς με μία *Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)* κάθε στιγμή, για όλη την αγορά.

Μία δεύτερη ιδιαιτερότητα της αγοράς είναι ότι σε αρκετές χώρες η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει μονοπωλιακή, μιας και σχεδόν το σύνολο των μονάδων ελέγχεται από μία κρατική εταιρεία. Άρα, αυτή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό μονομερώς την ΟΤΣ. Παρόλα αυτά, για διάφορους λόγους όπως είναι η βελτιστοποίηση της κοινωνικής χρησιμότητας, η απειλή εισόδου ανταγωνιστών ή η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και οι κρατικές επιχειρήσεις διαλέγουν ή ωθούνται να λειτουργούν με τρόπο που να προσομοιάζει στον τέλειο ανταγωνισμό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται υπόδειγμα της ηλεκτροπαραγωγής, σύμφωνα με το οποίο μεγιστοποιείται η Κοινωνική Χρησιμότητα στην αγορά ηλεκτροπαραγωγής. Το υπόδειγμα βλέπει τη ζήτηση την οποία πρέπει να καλύψει και κατανέμει τις μονάδες κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Αποδεικνύεται⁴⁰ ότι η μεγιστοποίηση του Κοινωνικού Πλεονάσματος είναι ισοδύναμη με την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής. Έτσι, υποθέτουμε ότι η αγορά είναι πλήρως ανταγωνιστική, μιας και η μεγιστοποίηση της Κοινωνικής Χρησιμότητας εξασφαλίζεται από την ύπαρξη τέλειου ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών. Ουσιαστικά, μέσω του ορισμού της συνάρτησης της Κοινωνικής Χρησιμότητας ορίζεται σε ένα ενιαίο πρόβλημα βελτιστοποίησης το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κάθε παραγωγός ξεχωριστά σε μία ανταγωνιστική αγορά.

Οι διαφορετικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στο παρόν υπόδειγμα διαφοροποιούνται ως προς το κόστος παραγωγής τους και ως προς το έτος δημιουργίας τους. Το πλήθος των τεχνολογιών του υποδείγματος δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (όπως στο συνολικό υπόδειγμα)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
12	Λιγνιτικές Μονάδες (<i>Coal - fired</i>)
13	Μονάδες Πετρελαίου (<i>Oil - fired</i>)
14	Μονάδες Φυσικού Αερίου (<i>Gas - fired</i>)
15	Πυρηνικές Μονάδες (<i>Nuclear</i>)
16	Μονάδες Βιομάζας(<i>Biomass - fired</i>)
17	Μικρές Υδροηλεκτρικές Μονάδες (<i>Small Hydro</i>)
18	Μεγάλες Υδροηλεκτρικές Μονάδες (<i>Large Hydro</i>)

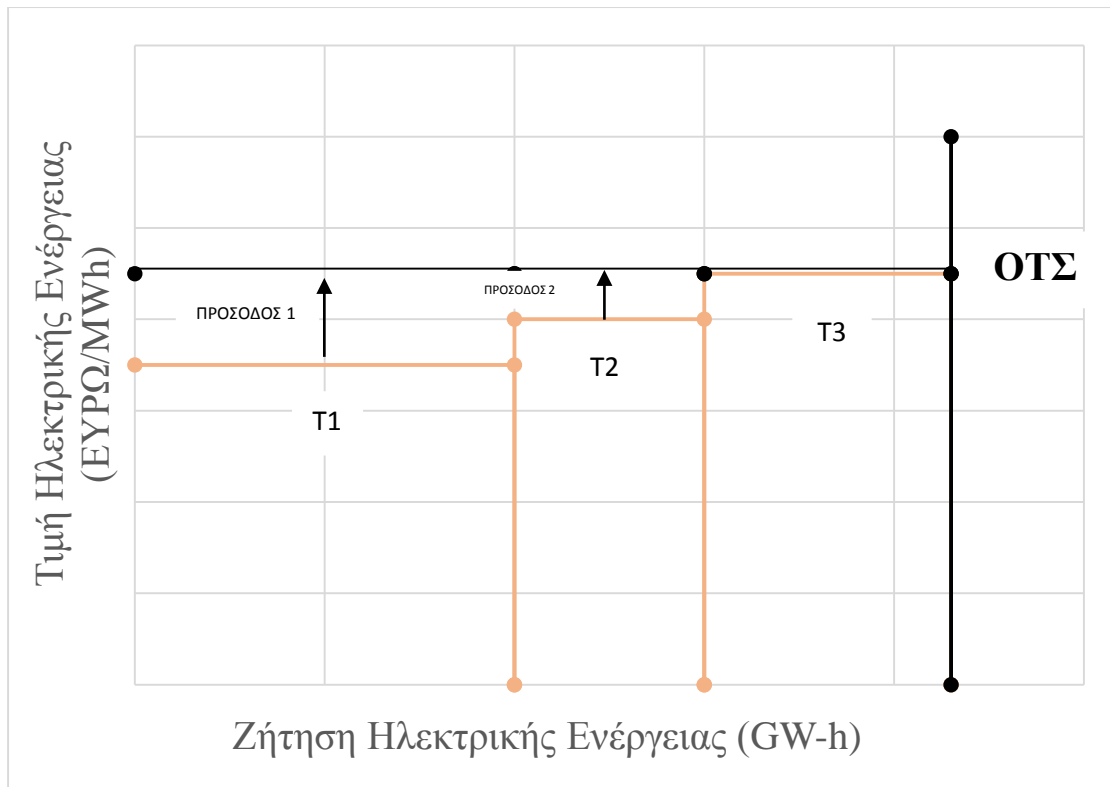
⁴⁰ Βλέπε (Gabriel, Conejo, Fuller, Hobbs, & Ruiz, 2012), κεφάλαιο 3.

19	Αιολικές Μονάδες επί ξηράς (<i>Wind Onshore</i>)
20	Υπεράκτιες Αιολικές Μονάδες (<i>Wind Offshore</i>)
21	Φωτοβολταϊκές Μονάδες (<i>Solar Photovoltaic</i>)
22	Λιγνιτικές Μονάδες με τεχνολογία Σύλληψης & Αποθήκευσης Άνθρακα (<i>Coal – fired with CCS</i>)
23	Μονάδες Φυσικού Αερίου με τεχνολογία Σύλληψης & Αποθήκευσης Άνθρακα (<i>Gas – fired with CCS</i>)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στις μονάδες που χρησιμοποιούν καύσιμα υπεισέρχονται μη γραμμικότητες ως προς το κόστος καυσίμου τους, κάτι που προσομοιώνει το φαινόμενο της αύξησης του οριακού κόστους παραγωγής των αντίστοιχων μονάδων δεδομένης της αύξησης της ποσότητας καυσίμου που χρησιμοποιούν. Αντίστοιχες μη γραμμικότητες υπεισέρχονται και στο στο κόστος κεφαλαίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτές με τη σειρά τους προσομοιώνουν την αύξηση του κόστους κατασκευής κάθε επιπλέον μονάδας. Αυτή η δυσκολία είναι υπαρκτή, μιας και η δυνατότητα εισαγωγής ΑΠΕ είναι πεπερασμένη. Για παράδειγμα, τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να τοποθετούνται σε περιοχές που πληρούν ορισμένες προδιαγραφές ως προς την ταχύτητα και την ποιότητα του αέρα. Έτσι, υπάρχουν λιγότερο και περισσότερα κατάλληλες τοποθεσίες. Αρχικά, ο αποφασίζων θα διαλέξει να εγκαταστήσει αιολικά πάρκα σε εκείνες τις περιοχές οι οποίες είναι οικονομικά συμφερότερες λόγω της ταχύτητας και της ποιότητας του ανέμου. Αφού εξαντλήσει αυτές τις περιοχές, θα επιλέξει λιγότερο προσοδοφόρες περιοχές και ούτω καθεξής, έως ότου η επένδυση σε κάποια άλλη τεχνολογία καταστεί συμφερότερη της εγκατάστασης επιπλέον ισχύος.

Συνεπώς, βραχυπρόθεσμα, οι μονάδες βλέπουν τη ζήτηση και προσπαθούν να την καλύψουν. Η ΟΤΣ καθορίζεται από το οριακό κόστος της ακριβότερης τεχνολογίας η οποία παράγει. Έτσι, οι τεχνολογίες οι οποίες εξαντλούν τη δυναμικότητά τους λαμβάνουν μια πρόσοδο (*rent*) που είναι ίση με τη διαφορά του οριακού τους κόστους και της τιμής που διαμορφώνεται στην αγορά. Όσες αγορές έχουν οριακό κόστος μεγαλύτερο από την ΟΤΣ δεν παράγουν. Στο παρακάτω σχήμα αναπαριστούμε τον ανταγωνισμό των τεχνολογιών για την κάλυψη της ζήτησης, με τις τεχνολογίες να έχουν σταθερό οριακό κόστος χάριν απλούστευσης.



ΣΧΗΜΑ 6: ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Στο Σχήμα 6 φαίνονται τα όσα περιγράψαμε με λόγια παραπάνω. Για την κάλυψη της ζήτησης ανταγωνίζονται οι τεχνολογίες $T1$, $T2$, $T3$. Η τεχνολογία με το μικρότερο οριακό κόστος ($T1$) καλύπτει εκείνη την ποσότητα ζήτησης που του επιτρέπει η δυναμικότητά του. Έπειτα, η αμέσως ακριβότερη τεχνολογία ($T2$) καλύπτει με τη σειρά της όση ζήτηση μπορεί και τέλος η τεχνολογία $T3$ καλύπτει όση ζήτηση απομένει. Η ΟΤΣ διαμορφώνεται από το οριακό κόστος της ακριβότερης μονάδας ($T3$). Η καμπύλη διάρκειας φορτίου του υποδείγματος αποτελείται από 11 ζώνες φορτίου ($s1 - s11$) σε κάθε μία από τις οποίες ανταγωνίζονται οι διαφορετικές τεχνολογίες.

Μακροπρόθεσμα, δεδομένου του προγράμματος παροπλισμού των μονάδων, της αύξησης της ζήτησης και της τεχνολογικής προόδου που φθηνώνει την ηλεκτροπαραγωγή, απαιτούνται επενδύσεις. Για την απόφαση για επένδυση λαμβάνεται υπόψη τόσο το κόστος παραγωγής μιας μονάδας, όσο και το ετησιοποιημένο σταθερό κόστος της επένδυσης.

Το υπόδειγμα λύνει ανά πενταετία και καθορίζει το άριστο μείγμα καυσίμου καθώς και τις άριστες επενδύσεις. Οι περιορισμοί του προβλήματος έχουν να κάνουν με την κάλυψη της ζήτησης σε κάθε ζώνη φορτίου και σε κάθε έτος, του περιορισμού ενέργειας των υδροηλεκτρικών μονάδων καθώς και του περιθωρίου αποθεματικών που θέλει να διατηρεί ο αποφασίζων. Παρακάτω θα δούμε ακριβώς όσα περιγράφονται εδώ σχηματικά, μιας και θα μορφοποιήσουμε το πρόβλημα ως μη - γραμμικού

προγραμματισμού και στην παράγραφο 4.2. θα γραφεί το πρόβλημα ως μεικτής συμπληρωματικότητας.

4.2. Μορφοποίηση ως Πρόβλημα Μη – Γραμμικού Προγραμματισμού

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, το πρόβλημα του τέλειου ανταγωνισμού είναι ισοδύναμο με το πρόβλημα της βελτιστοποίησης του Κοινωνικού Πλεονάσματος, που μπορεί να γραφεί ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους:

Min OC

s. t.

$$\begin{aligned}
 OC = & \sum_{tec,vtime,dem,runtime} \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} & (4.1.) \\
 & \cdot NLFUELC_{tec,vtime,dem,runtime} \\
 & + \sum_{tec,vtime,dem,runtime} \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \\
 & \cdot vOMC_{tec,vtime,dem,runtime} \\
 & + \sum_{tec,vtime} \sum_{runtime \geq vtime} \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \cdot (FC_{tec,vtime} \\
 & - invnl_{tec,vtime} \cdot \log(1 - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}})) \\
 & + \sum_{tec,vtime} \sum_{runtime \geq vtime} \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \cdot pot_{tec,vtime} \\
 & \cdot invnl_{tec,vtime} \cdot \left(\frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}} + \log(1 \right. \\
 & \left. - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}}) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} & & (4.2.) \\
 = & heatrate_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
 & \cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime}
 \end{aligned}$$

$$NLFUEL_{tec,vtime,dem,untime} = scale_{f_{tec,untime}} \quad (4.3.)$$

$$\cdot (pff_{tec,untime} + emfCO2_{tec} \cdot txcarb_{tec,untime}) \cdot \left(\frac{FUEL_{tec,vtime,dem,untime}}{scale_{f_{tec,untime}}} \right)^{nlpow_{tec,untime}}$$

$$FC_{tec,untime} = 5 \cdot (scale_{pinv} \cdot scale_p) \cdot [(pINVT_{tec,untime} + \overline{IPI}_{untime} \cdot subren_{tec,untime})] \cdot \left[\frac{((1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)}{discr_{tec} \cdot (1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right] \quad (4.4.)$$

$$POWDM_{dem,untime} = \sum_{pr} loadprof_{pr,untime} \cdot dem1_{pr} \quad (4.5.)$$

$$\cdot (1 + bugrt_{untime,t_s})^{untime-1} + loadprof_{hsh,untime} \cdot dem_{hsh} \cdot (1 + bugrt_{untime,t_s})^{untime-1} + loadprof_{gov,untime} \cdot dem1_{gov} \cdot (1 + bugrt_{untime,t_s})^{untime-1} + loadprof_{inv,untime} \cdot dem1_{inv} \cdot (1 + bugrt_{untime,t_s})^{untime-1} + loadprof_{ex,untime} \cdot dem_{ex} \cdot (1 + bugrt_{untime,t_s})^{untime-1}$$

$$\sum_{tec,vtime} GEN_{tec,vtime,dem,untime} \geq POWDM_{tem,untime} \perp pDM_{dem,untime} \quad (4.6.)$$

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,untime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \geq POWDM_{tec,untime} \cdot (1 + rm_{dem,untime}) \perp pRM_{dem,untime} \quad (4.7.)$$

$$energymax_{hydro,untime} \geq \sum_{dem,vtime} dur_{dem} \cdot GEN_{hydro,vtime,dem,untime} \perp pHE_{hydro,untime} \quad (4.8.)$$

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,untime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \geq GEN_{tec,vtime,dem,untime} \perp pKT_{tec,vtime,dem,untime} \quad (4.9.)$$

Όπου:

- Σύνολα:

tec: σύνολο τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής

hydro: υδροηλεκτρικές μονάδες

vtime: έτος δημιουργίας εργοστασίου

dem: χρονική ζώνη ζήτησης ενέργειας

runtime: έτη επίλυσης του υποδείγματος

butime: όμοιο με το *rtime*

hsh: τα νοικοκυριά

gov: η κυβέρνηση

inv: ο κλάδος των επενδύσεων

ex: οι εξαγωγές

- Μεταβλητές:

OC: αντικειμενική συνάρτηση – συνολικό κόστος

$FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}$: ζήτηση καυσίμου κάθε μονάδας *tec*, που φτιάχτηκε το έτος *vtime* και λειτουργεί στη ζώνη ζήτησης *dem*, το έτος *runtime*

$GEN_{tec,vtime,dem,runtime}$: επίπεδο παραγωγής κάθε μονάδας *tec*, που φτιάχτηκε το έτος *vtime* και λειτουργεί στη ζώνη ζήτησης *dem*, το έτος *runtime*

$KAVCT_{tec,vtime}$: δυναμικότητα εργοστασίου μονάδας *tec*, που φτιάχτηκε το έτος *vtime*

$POWDM_{dem,butime}$: επίπεδο ζήτησης ενέργειας στη ζώνη *dem*, το έτος *butime*

$FC_{tec,runtime}$: ετησιοποιημένη πληρωμή του σταθερού κόστους μονάδας *tec* που λειτουργεί το έτος *runtime*

$NLFUEL_{tec,vtime,dem,runtime}$: κόστος καυσίμου

$pRM_{dem,runtime}$: δυική μεταβλητή του περιορισμού περιθωρίου αποθέματος δυναμικότητας. Εξασφαλίζει ένα επιπλέον κέρδος για το σύνολο των παραγόμενων μονάδων, ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί δυναμικότητα τέτοια που να καλύπτει και την πιο ακραία περίπτωση ζήτησης.

$pDM_{dem, runtime}$: δυική μεταβλητή του περιορισμού εκκαθάρισης της αγοράς. Η ανά ώρα υπολογιζόμενη τιμή της αποτελεί την ΟΤΣ για τη συγκεκριμένη χρονική ζώνη.

$pKT_{tec, vtime, dem, runtime}$: δυική μεταβλητή του περιορισμού δυναμικότητας. Αποτελεί την πρόσοδο που αποκομίζουν όσοι παραγωγοί εξαντλούν τη δυναμικότητά τους.

$pHE_{hydro, runtime}$: δυική μεταβλητή του περιορισμού συνολικής παραγωγής που έχουν τα υδροηλεκτρικά. Αποτελεί την πρόσοδο που αποκομίζουν οι υδροηλεκτρικές μονάδες όταν εξαντλούν τα συνολικά ετήσια διαθέσιμα αποθέματα υδάτων.

- Σταθερές:

δ : προεξοφλητικό επιτόκιο αποφασίζοντα – συνδέεται με το ρίσκο που αντιλαμβάνεται

$vomc_{tec, runtime}$: μεταβλητό κόστος παραγωγής μονάδας tec που λειτουργεί το έτος $runtime$

$invnl_{tec, vtime}$: σταθερά που καθορίζει πόσο γρήγορα αυξάνεται το κόστος επένδυσης μονάδας tec που φτιάχνεται το έτος $vtime$

$pot_{tec, vtime}$: μέγιστο δυνατό επίπεδο εγκατάστασης ισχύος μονάδας tec που φτιάχνεται το έτος $vtime$

$util_{tec, dem, vtime}$: συντελεστής χρησιμοποίησης της δυναμικότητας μονάδας tec , που λειτουργεί στη ζώνη ζήτησης dem και φτιάχτηκε το έτος $vtime$

$heatrate_{tec, vtime, dem, runtime}$: βαθμός απόδοσης θερμικής μονάδας tec , που φτιάχτηκε το έτος $vtime$ και λειτουργεί στη ζώνη ζήτησης dem , το έτος $runtime$

dur_{dem} : διάρκεια ζώνης ζήτησης dem

$scalef_{tec, runtime}$: παράμετρος που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του οριακού κόστους δεδομένης της ποσότητας καυσίμου μονάδας tec που λειτουργεί το έτος $runtime$

$pf_{tec, runtime}$: τιμή αγοράς καυσίμου μονάδας tec που λειτουργεί το έτος $runtime$

$nlprow_{tec, runtime}$: παράμετρος που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του οριακού κόστους δεδομένης της ποσότητας καυσίμου μονάδας tec που λειτουργεί το έτος $runtime$

$scalepinv$: παράμετρος που σχετίζεται με το κόστος κεφαλαίου

$scalep$: παράμετρος που σχετίζεται με το συνολικό κόστος παραγωγής και επένδυσης

$discrt_{tec}$: υπολογιζόμενη απόσβεση κάθε μονάδας tec

$lifetime_{tec}$: χρόνος ζωής μονάδας tec

$bugrt_{butime,runtime}$: υποτιθέμενος ρυθμός αύξησης της ζήτησης στα επόμενα χρόνια ($butime$) σε σχέση με τη ζήτηση του πρώτου έτους t_s

$loadprof_{pr,runtime}$: προφίλ ζήτησης παραγωγού pr το έτος $runtime$

$loadprof_{hsh,runtime}$: προφίλ ζήτησης αντιπροσωπευτικού καταναλωτή το έτος $runtime$

$loadprof_{gov,runtime}$: προφίλ ζήτησης της κυβέρνησης το έτος $runtime$

$loadprof_{inv,runtime}$: προφίλ ζήτησης του κλάδου επενδύσεων το έτος $runtime$

$loadprof_{ex,runtime}$: προφίλ ζήτησης για εξαγωγές το έτος $runtime$

dem_{pr} : επίπεδο ζήτησης παραγωγού pr

dem_{hsh} : επίπεδο ζήτησης αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

dem_{gov} : επίπεδο ζήτησης της κυβέρνησης

dem_{inv} : επίπεδο ζήτησης του κλάδου επενδύσεων

dem_{ex} : επίπεδο ζήτησης για εξαγωγές

$emfCO2_{tec}$: συντελεστής εκπομπών που σχετίζεται με το αντίστοιχο καύσιμο εισόδου του κάθε ηλεκτροπαραγωγού

$decom_{tec,vtime,runtime}$: επίπεδο δυναμικότητας μονάδας tec που δημιουργήθηκε το έτος $vtime$ και αποσύρεται το έτος $runtime$

$rm_{dem,runtime}$: περιθώριο αποθέματος δυναμικότητας που πρέπει να διατηρείται ως προς κάθε επίπεδο ζήτησης dem σε κάθε έτος $runtime$

$\overline{pINV}_{tec,runtime}$: τιμή που σχετίζεται με το κόστος κεφαλαίου

$\overline{IPI}_{runtime}$: δείκτης τιμών επενδυτικών αγαθών: παράμετρος για το μοντέλο της ηλεκτροπαραγωγής

Να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση ισχύει ο περιορισμός $vtime \leq ts \leq runtime \leq lstyear$, με ts : αρχική περίοδο επίλυσης του υποδείγματος (που μπορεί να αλλάζει δυναμικά) και $lstyear$: τελευταία περίοδος επίλυσης του υποδείγματος (που μπορεί να αλλάζει δυναμικά). Ακόμη, τα τεχνο – οικονομικά δεδομένα για τις διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής έχουν παρθεί από τη βάση δεδομένων *TECHPOL*.

4.3. Μορφοποίηση ως Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας

Για τη μορφοποίηση του παραπάνω προβλήματος μη γραμμικού προγραμματισμού ως πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας, ακολουθούμε τη μεθοδολογία του κεφαλαίου. Εδώ παραθέτουμε τις ΚΚΤ συνθήκες που προκύπτουν ύστερα από την κατάστρωση του προβλήματος. Η βασική δομή του συστήματος των εξισώσεων είναι ίδια με αυτήν που προτείνει και ο (Rutherford, 1995). Δηλαδή, έχουμε δύο ομάδες συναρτήσεων παραγωγής που καθορίζουν πότε μια υπάρχουσα μονάδα θα παράξει και πότε θα φτιαχτεί μια νέα μονάδα. Έπειτα έχουμε μια σειρά από ανισοτικούς περιορισμούς των οποίων οι συμπληρωματικές μεταβλητές καθορίζουν τιμές του μοντέλου. Τέλος έχουμε μια τρίτη ομάδα, ισοτικών περιορισμών, οι οποίοι ορίζουν μεταβλητές ώστε να είναι πιο ευανάγνωστο το υπόδειγμα. Οι εξισώσεις, είναι:

Συνάρτηση οριακού κόστους καυσίμου κάθε ηλεκτροπαραγωγού:

$$\begin{aligned}
 mpF_{tec,vtime,dem,runtime} & & (4.10) \\
 &= \left(\frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime-ts} \\
 &\cdot (pff_{tec,runtime} + emfCO2_{tec} \cdot txcarb_{tec,runtime}) \\
 &\cdot heatrate_{tec,vtime} \\
 &\cdot \left(\frac{FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}}{scalef_{tec,runtime}} \right)^{nlpow_{tec,runtime}} \\
 &\perp mpF_{tec,vtime,dem,runtime}
 \end{aligned}$$

Συνάρτηση ετησιοποιημένης πληρωμής του κόστους κατασκευής μιας μονάδας:

$$\begin{aligned}
 mpFC_{tec,runtime} & & (4.11) \\
 &= 5 \cdot (scalepinv \cdot scalep) \\
 &\cdot \frac{[(pINVT_{tec,runtime} + IPI_{runtime} \cdot subren_{tec,runtime})]}{\left[\frac{((1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)}{discr_{tec} \cdot (1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right]} \\
 &\perp mpFC_{tec,runtime}
 \end{aligned}$$

Συνάρτηση υπολογισμού του απαιτούμενου καυσίμου:

$$\begin{aligned}
 FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} & & (4.12) \\
 &= heatrate_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
 &\cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \perp FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}
 \end{aligned}$$

Συνάρτηση παραγωγής για κάθε ηλεκτροπαραγωγό: το οριακό του κόστος πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο της ΟΤΣ

$$\begin{aligned}
& mpF_{tec,vtime,dem,runtime} + \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot vomC_{tec,runtime} \\
& + pKT_{tec,vtime,dem,runtime} + pHE_{tec\in hydro,runtime} \\
& \geq pDM_{dem,runtime} \perp GEN_{tec,vtime,dem,runtime}
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Συνάρτηση δημιουργίας νέων εργοστασίων: τα συνολικά έξοδα κατασκευής νέων εργοστασίων πρέπει να καλύπτονται από τις συνολικές προσόδους που αποκομίζει λόγω της κατασκευής του:

$$\begin{aligned}
& \sum_{runtime \geq vtime} \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot (mpFC_{tec,runtime} - invnl_{tec,vtime} \\
& \cdot \log(1 - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}})) \\
& \geq \sum_{runtime \geq vtime, dem} pKT_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
& \cdot util_{tec,dem,vtime} \\
& + \sum_{runtime \geq vtime, dem} pHE_{tec\in hydro,vtime,dem,runtime} \\
& \cdot dur_{dem} \cdot util_{tec\in hydro,dem,vtime}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

Συνάρτηση υπολογισμού της ζήτησης ενέργειας σε κάθε χρονική ζώνη:

$$\begin{aligned}
& POWDM_{dem,butime} \\
& = \sum_{pr} loadprof_{pr,runtime} \cdot dem1_{pr} \\
& \cdot (1 + bugrt_{butime,t_s})^{butime-1} \\
& + loadprof_{hsh,runtime} \cdot dem_{hsh} \\
& \cdot (1 + bugrt_{butime,t_s})^{butime-1} \\
& + loadprof_{gov,runtime} \cdot dem1_{gov} \\
& \cdot (1 + bugrt_{butime,t_s})^{butime-1} \\
& + loadprof_{inv,runtime} \cdot dem1_{inv} \\
& \cdot (1 + bugrt_{butime,t_s})^{butime-1} \\
& + loadprof_{ex,runtime} \cdot dem_{ex} \\
& \cdot (1 + bugrt_{butime,t_s})^{butime-1} \perp POWDM_{dem,butime}
\end{aligned} \tag{4.15}$$

Περιορισμός εκκαθάρισης της ζήτησης ενέργειας:

$$\begin{aligned}
& \sum_{tec,vtime} GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \geq POWDM_{tem,runtime} \\
& \perp pDM_{dem,runtime}
\end{aligned} \tag{4.16}$$

Περιορισμός καθορισμού του περιθωρίου αποθέματος δυναμικότητας που απαιτείται:

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (4.17)$$

$$\geq POWDM_{tec,runtime} \cdot (1 + rm_{dem,runtime})$$

$$\perp pRM_{dem,runtime}$$

Περιορισμός δυναμικότητας για τους ηλεκτροπαραγωγούς:

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (4.18)$$

$$\geq GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \perp pKT_{tec,vtime,dem,runtime}$$

Περιορισμός διαθεσιμότητας των υδάτων για τις υδροηλεκτρικές μονάδες:

$$energymax_{hydro,runtime} \quad (4.19)$$

$$\geq \sum_{dem,vtime} dur_{dem} \cdot GEN_{hydro,vtime,dem,runtime}$$

$$\perp pHE_{hydro,runtime}$$

Το σύστημα των εξισώσεων (4.10) – (4.17) ορίζει το προς επίλυση πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε πώς γίνεται η σύνδεση μεταξύ των δύο διαφορετικών υποδειγμάτων. Δηλαδή, θα εξετάσουμε τι δέχεται ως είσοδο το κάθε υπόδειγμα από το άλλο αλλά και τι επιστρέφει.

5

Υβριδικό μοντέλο

5.1. Απόπειρες εισαγωγής λεπτομέρειας στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής

Ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, χαρακτηρίζεται από πολλές ιδιομορφίες. Η αδυναμία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μικρή ελαστικότητα ζήτησης που δείχνει την αδυναμία υποκατάστασης της ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες μορφές ενέργειας καθιστούν επιτακτική την λεπτομερή αναπαράστασή της σε περιπτώσεις που απαιτείται η αποτίμηση ενεργειακών πολιτικών.

Το βασικό πρόβλημα που ανακύπτει από τη μοντελοποίηση του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας με νεοκλασικές συναρτήσεις παραγωγής είναι η ότι δεν αντιλαμβάνονται θεμελιώδεις νόμους της θερμοδυναμικής. Πιο συγκεκριμένα, εάν ακολουθήσουμε τη μέθοδο που προτείνει ο Wing σε (Wing I. S., 2011) τότε η ζήτηση του κλάδου για καύσιμα είναι πολύ πιθανό να μη συμφωνεί με τη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, να παράγονται τέτοιες ποσότητες που να μην επαληθεύεται ο βαθμός απόδοσης των εργοστασίων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Ακόμη, ακριβώς λόγω της αδυναμίας αντίληψης των δυνατοτήτων υποκατάστασης μεταξύ των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής, υπερεκτιμάται το κόστος προσαρμογής από την εισαγωγή φόρου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αν και ο φόρος επηρεάζει το σύνολο της οικονομίας, ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής συνιστά ένα μεγάλο κομμάτι της ζήτησης για ορυκτά καύσιμα και άρα η ακριβέστερη αναπαράσταση της συμπεριφοράς του είναι κρίσιμη για την ανάλυση ενός τέτοιου ζητήματος.

Έτσι, ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 γίνεται η προσπάθεια ενσωμάτωσης της μικροοικονομικής απόκρισης του ηλεκτρικού τομέα μέσω της σύνδεσης

υπαρχόντων υποδειγμάτων μερικής οικονομικής ισορροπίας σε υποδείγματα γενικής οικονομικής ισορροπίας. Αρχικά, μέσω της «χαλαρής σύνδεσης» (*soft link*) υποδειγμάτων μερικής οικονομικής ισορροπίας με υποδείγματα γενικής ισορροπίας. Ωστόσο, οι διαφορετικές βάσεις δεδομένων, καθώς και οι διαφορετικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνταν κατά την ανάπτυξή τους προκαλούν προβλήματα συνολικής συνέπειας και σύγκλισης.

Η περαιτέρω εξέλιξη των αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης, με σημαντικότερη την ανάπτυξη του αλγορίθμου PATH για την επίλυση προβλημάτων μεικτής συμπληρωματικότητας, καθώς και της αύξησης της υπολογιστικής ισχύος των υπολογιστών, έκαναν δυνατή τη «σκληρή σύνδεση» (*hard link*) μεταξύ των δύο τύπων μοντέλων. Οι βασικοί λόγοι είναι δύο και έχουν να κάνουν πρώτον, με τη δυνατότητα ταυτόχρονης επίλυσης όλων των προβλημάτων αριστοποίησης ταυτόχρονα και, δεύτερον, με τις διαστάσεις του συνολικού προβλήματος. Τα «από κάτω προς τα πάνω» υποδείγματα είναι συνήθως υποδείγματα με εξαιρετικά μεγάλο αριθμό μεταβλητών. Εάν συνυπολογιστεί και ότι στα MCP εμφανίζονται και οι δυικές μεταβλητές των περιορισμών, γίνεται αντιληπτό ότι η πολυπλοκότητα της σύνδεσης δύο υποδειγμάτων μεγάλης κλίμακας ήταν απαγορευτική.

Σε αυτήν την κατεύθυνση κινήθηκαν οι Bohringer και Rutherford σε σειρά άρθρων τους⁴¹. Εδώ, ο κλάδος της ηλεκτρικής ενέργειας βλέπει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη οικονομία και προσπαθεί να την καλύψει χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες ανταγωνίζονται σύμφωνα με το οριακό τους κόστος. Όμοια με την υπόθεση του τέλει ανταγωνισμού που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, ο ακριβότερος παραγωγός είναι αυτός που διαμορφώνει την τιμή της αγοράς. Άρα, όσοι έχουν οριακό κόστος μικρότερο της τιμής της αγοράς λαμβάνουν μια μη αρνητική πρόσοδο, ενώ όσες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής έχουν οριακό κόστος μεγαλύτερο της τιμής της αγοράς δεν παράγουν. Το οριακό κόστος των διαφορετικών τεχνολογιών διαμορφωνόταν κατά τα γνωστά μέσα από *Leontief* συναρτήσεις ως προς τις εισόδους που απαιτούνται.

Τα υποδείγματα αυτά, αν και αποτέλεσαν σίγουρα ένα βήμα προόδου σε σχέση με τις έως τότε επεξεργασίες, είχε ορισμένα πολύ βασικά προβλήματα. Πρώτον, οι τεχνολογίες δεν έβλεπαν διαφορετικές χρονικές ζώνες, ζήτησης, παρά μόνον ένα ενιαίο επίπεδο ζήτησης. Δεύτερον, η αναπαράσταση των τεχνολογιών ήταν εξαιρετικά απλοποιημένη, μιας και η δυναμικότητα των εργοστασίων δεν είναι δοσμένη εκ των προτέρων, αλλά προκύπτει ύστερα από την προσαρμογή στο έτος

⁴¹ Βλέπε (Bohringer C. , The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling, 1998), (Bohringer & Rutherford, Discussion Paper No. 06-007, 2006) και (Bohringer & Rutherford, 2005). Στην ίδια ακριβώς λογική, με μικρές παραλλαγές, κινούνται και άλλα περισσότερο πρόσφατα υποδείγματα, όπως το HYBGED (Proenca & Aubyn, 2013) αλλά και το SCREEN (Kumbaroglou & Madlener, 2001).

βάσης ώστε το σύνολο των πληρωμών να είναι συνεπές με τον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής. Τέλος, δεν υπάρχει μηχανισμός που αποφασίζει ρητά για τις επενδύσεις λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική ζήτηση, αλλά το κεφάλαιο της κάθε τεχνολογίας – δηλαδή η δυναμικότητα των εργοστασίων της αντίστοιχης τεχνολογίας – αυξάνεται ακριβώς όπως αυξάνεται το κεφάλαιο στους υπόλοιπους κλάδους.

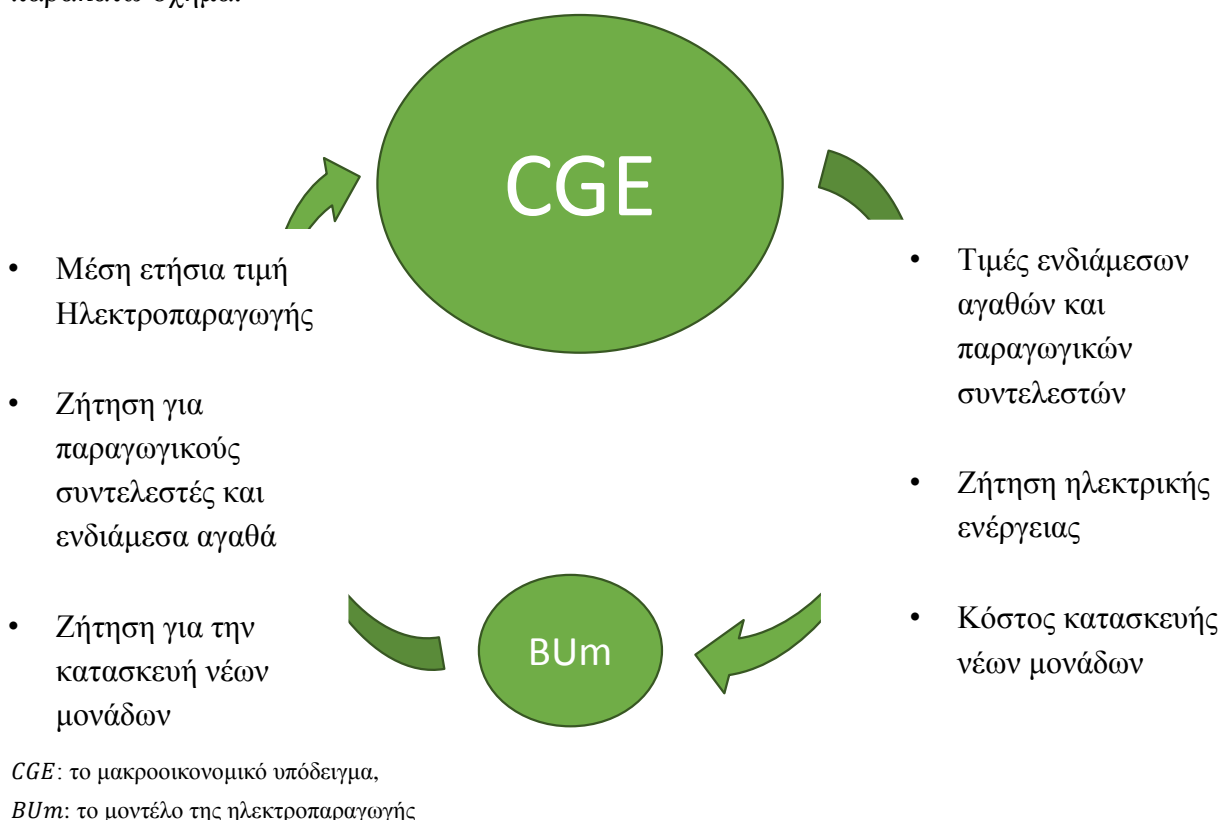
Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι ακόμα και σε αυτήν την προτεινόμενη επέκταση, η αναπαράσταση του κλάδου αλλοιώνεται αρκετά χάριν της απλότητας και της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Από εκεί κι έπειτα έγιναν αρκετές προσπάθειες υπέρβασης των μειονεκτημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Η παρούσα διπλωματική βασίστηκε σε ένα βαθμό στη σχετικά πρόσφατη προσπάθεια των ερευνητών του προγράμματος *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, του MIT. Οι (Rausch & Lanz, Report No. 194, 2011) αρχικά δούλεψαν στη σύνδεση στατικών υποδειγμάτων. Στο συγκεκριμένο άρθρο τους, η αναπαράσταση του ηλεκτρικού τομέα είναι λεπτομερείς, με τις τεχνολογίες να ανταγωνίζονται ανάλογα με το οριακό τους κόστος, το οποίο δίνεται από τεχνο – οικονομικά δεδομένα ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και του κόστους καυσίμου. Έτσι, κατάφεραν να ξεπεράσουν τις δύο πρώτες δυσκολίες που ήταν εγγενής στη μοντελοποίηση των Bohringer & Rutherford. Η υπέρβαση του τρίτου μειονεκτήματος έγινε με τη σύνδεση του ReEDS⁴² στο μακροοικονομικό υπόδειγμα MIT USREP (U.S. Regional Energy Policy) από τους (Rausch & Mowers, Report No. 225, 2012). Πρόκειται για ένα εξαιρετικά λεπτομερές υπόδειγμα που αποφασίζει τόσο την άριστη κατανομή των μονάδων σε κάθε ζώνη ζήτησης, όσο και τις άριστες επενδύσεις σε νέες μονάδες. Για την υπέρβαση υπολογιστικών δυσκολιών που ανακύπτουν από τον αλγόριθμο MCP καθώς και την επιτάχυνση της διαδικασίας σύγκλισης, τα δύο μοντέλα επιλύουν ξεχωριστά και για τη συνολική σύγκλιση χρησιμοποιείται ένας επαναληπτικός αλγόριθμος. Ωστόσο, η κοινή προσαρμογή στο έτος βάσης των δεδομένων και των δύο υποδειγμάτων, καθώς και η απόκριση γενικής ισορροπίας του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής εξασφαλίζουν τη συνέπεια του συνολικού προβλήματος.

5.2. Σύνδεση των δύο υποδειγμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος της «σκληρής σύνδεσης» των δύο υποδειγμάτων. Συνεπώς, θα πρέπει να καθοριστεί τι θα λαμβάνει ως είσοδο το κάθε μοντέλο από το άλλο και τι θα επιστρέφει ύστερα από την επίλυσή του. Ακόμα, θα πρέπει οι τιμές και στα δύο υποδείγματα να είναι τέτοιες ώστε σε κάθε περίπτωση

⁴² Για περισσότερα σχετικά με αυτό το υπόδειγμα, βλέπε (Short, και συν., 2011).

να εξασφαλίζεται η ύπαρξη numeraire. Η ακριβής σύνδεση αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα:

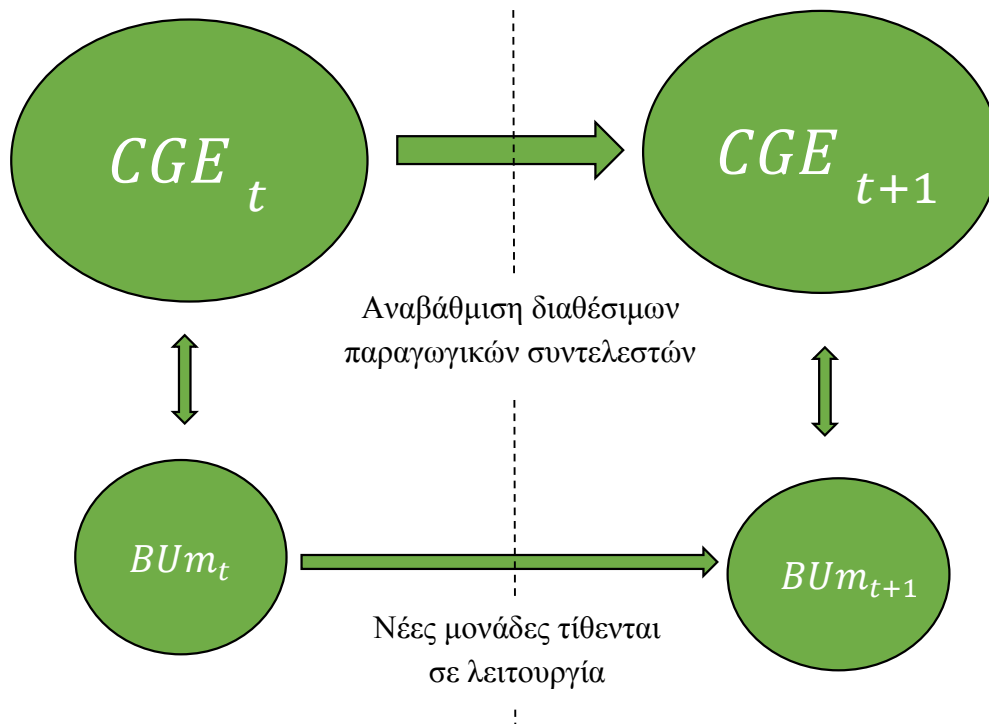


ΣΧΗΜΑ 7: ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, το μεν μακροοικονομικό υπόδειγμα παρέχει στο BUm τις τιμές των ενδιάμεσων αγαθών και των παραγωγικών συντελεστών που απαιτούνται από τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής (καύσιμα, εργασία, κ.λπ.), την ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και το κόστος κατασκευής νέων μονάδων. Το BUm με τη σειρά του δέχεται τη ζητούμενη ενέργεια και, δεδομένων των προτιμήσεων των διαφορετικών καταναλωτών, κατασκευάζει μια καμπύλη διάρκειας φορτίου με 11 χρονικές ζώνες που διαφοροποιούνται ως προς το ύψος της ενέργειας που απαιτούν. Αφού λύσει το πρόβλημα που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, επιστρέφει στο μακροοικονομικό υπόδειγμα μια μέση ετήσια τιμή ηλεκτροπαραγωγής, τη ζήτηση για παραγωγικούς συντελεστές που οφείλεται στη λειτουργία των σταθμών καθώς και τη ζήτηση για επένδυση που γίνεται στον κλάδο.

Το υπόδειγμα αποφασίζει την επένδυση υποθέτοντας την εξέλιξη των τιμών και της ζήτησης στο μέλλον, για ένα διάστημα 10 ετών (δηλαδή δύο 5 – ετιών). Άρα, αν και το πρόβλημα μερικής οικονομικής ισορροπίας λύνεται ταυτόχρονα για μια περίοδο 10 ετών, οι αποφασίζοντες δεν γνωρίζουν ακριβώς το ύψος των τιμών στο μέλλον, αλλά υποθέτουν ότι θα παραμείνουν ίδιες. Όταν επιλύεται το συνολικό πρόβλημα, η επένδυση που αποφασίστηκε το έτος t γίνεται νέα μονάδα για το έτος $t + 5$ με

δυναμικότητα ίση με αυτήν που αποφασίστηκε από τη λύση του έτους t . Συνεπώς, επιλέγεται μια αλληλουχία στατικών υποδειγμάτων, ανά πενταετία, όπου η επένδυση της μιας πενταετίας αποτελεί υπάρχον κεφάλαιο για την επόμενη. Αυτή ακριβώς η συμπεριφορά απεικονίζεται παρακάτω:



ΣΧΗΜΑ 8: ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Αρχικά, οι εξισώσεις του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας (Η.Ε.) διαμορφώνονται ως εξής:

$$pD_{ele,t} = \frac{pd_{ele,0}}{tfp_t} \cdot \left[\theta_{t\&d,t} \cdot \frac{pDIST_{ele,t}}{pdist_{ele,0}} + \theta_{sup,t} \cdot \frac{pSUPBU_{ele,t}}{psupbu_{ele,0}} \right]$$

**Οριακό
κόστος
παραγωγής
κλάδου
Η.Ε.
(5.1.)**

$$pDIST_{ele,t} = pdist_{ele,0} \cdot \left[\sum_{\forall pr} distco_{pr} \cdot e^{-tge0_{pr \in ene,t}} \cdot \frac{pIO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} + distcol \cdot \frac{pL_t}{pl_0} + distcok \cdot \frac{pK_t}{pk_0} \right]$$

Οριακό
κόστος
κλάδου
μεταφοράς
και
διανομής
Η.Ε.
(5.2)

$$DIST_{ele,t} = \left[\sum_{\forall pr} XXDELEpr_{pr,t} + XXDELEhsh_{hsh,t} + XXDELEgov_{gov,t} + XXDELEinv_{inv,t} + XXDELEex_{ex,t} \right]$$

Ζήτηση
δέσμης
μεταφοράς
και
διανομής
του
κλάδου
Η.Ε.
(5.3)

Έπειτα, ξαναγράφουμε τις εξισώσεις του υποδείγματος της ηλεκτροπαραγωγής, μόνο που οι εξωγενείς τιμές και ποσότητες έχουν αντικατασταθεί από της αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται από το μακροοικονομικό υπόδειγμα:

$$mpF_{tec,vtime,dem,runtime} = \left(\frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime-ts} \cdot \sum_{pr \in mapinpte_{pr,tec}} (pIO_{pr,t} + emfCO2_{tec} \cdot txcarb_{ff,runtime}) \cdot heatrate_{tec,vtime} \cdot \left(\frac{FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}}{scalef_{tec,runtime}} \right)^{nlpow_{tec,runtime}} \perp mpF_{tec,vtime,dem,runtime}$$

(5.4)

$$mpFC_{tec,runtime} = 5 \cdot (scalepinv \cdot scalep) \cdot \frac{[(pINVT_{tec,t} + IPI_{runtime} \cdot subren_{tec,runtime})]}{\left[\frac{((1 + discrte_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)}{discrte_{tec} \cdot (1 + discrte_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right]} \perp mpFC_{tec,runtime}$$

(5.5)

$$FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} = heatrate_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \perp FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}$$

(5.6)

$$\begin{aligned}
& mpF_{tec,vtime,dem,runtime} + \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot vomc_{tec,0} \\
& \cdot \sum_{\forall pr} (vomcco_{pr,tec} \cdot e^{-tge0_{pr\in ene,t}} \cdot \frac{plO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} + vomccol_{tec} \\
& \cdot \frac{pL_t}{pl_0}) + pKT_{tec,vtime,dem,runtime} + pHE_{tec\in hydro,runtime} \\
& \geq pDM_{dem,runtime} \\
& \perp GEN_{tec,vtime,dem,runtime}
\end{aligned} \tag{5.7}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{runtime \geq vtime} \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot (mpFC_{tec,runtime} - invnl_{tec,vtime} \\
& \cdot \left(\frac{IPI_{runtime}}{ipi_0}\right) \cdot \log\left(1 - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}}\right)) \\
& \geq \sum_{runtime \geq vtime, dem} pKT_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
& \cdot util_{tec,dem,vtime} \\
& + \sum_{runtime \geq vtime, dem} pHE_{tec\in hydro,vtime,dem,runtime} \\
& \cdot dur_{dem} \cdot util_{tec\in hydro,dem,vtime}
\end{aligned} \tag{5.8}$$

$$\begin{aligned}
& POWDM_{dem, butime} \tag{5.9} \\
& = \left[\sum_{pr,t} loadprof_{pr, runtime} \cdot XXDELE_{pr,t} \right. \\
& \quad \cdot (1 + bugrt_{butime, t_s})^{butime-1} \\
& \quad + \sum_{\forall t} loadprof_{hsh, runtime} \cdot XXDELE_{hsh, t} \\
& \quad \cdot (1 + bugrt_{butime, t_s})^{butime-1} \\
& \quad + \sum_{\forall t} loadprof_{gov, runtime} \cdot XXDELE_{gov, t} \\
& \quad \cdot (1 + bugrt_{butime, t_s})^{butime-1} \\
& \quad + \sum_{\forall t} loadprof_{inv, runtime} \cdot XXDELE_{inv, t} \\
& \quad \cdot (1 + bugrt_{butime, t_s})^{butime-1} \\
& \quad \left. + \sum_{\forall t} loadprof_{ex, runtime} \cdot XXDELE_{ex, t} \right. \\
& \quad \left. \cdot (1 + bugrt_{butime, t_s})^{butime-1} \right] \cdot \theta_{sup, t} \cdot \left(\frac{\frac{pd_{ele, 0}}{tfp_t}}{psupbu0_{ele, t}} \right) \\
& \perp POWDM_{dem, butime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{tec, vtime} GEN_{tec, vtime, dem, runtime} \geq POWDM_{tem, runtime} \tag{5.10} \\
& \perp pDM_{dem, runtime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{tec, vtime} (KAVCT_{tec, vtime} - decom_{tec, vtime, runtime}) \cdot util_{tec, dem, vtime} \tag{5.11} \\
& \geq POWDM_{tec, runtime} \cdot (1 + rm_{dem, runtime}) \\
& \perp pRM_{dem, runtime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{tec, vtime} (KAVCT_{tec, vtime} - decom_{tec, vtime, runtime}) \cdot util_{tec, dem, vtime} \tag{5.12} \\
& \geq GEN_{tec, vtime, dem, runtime} \\
& \perp pKT_{tec, vtime, dem, runtime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& energymax_{hydro, runtime} \tag{5.13} \\
& \geq \sum_{dem, vtime} dur_{dem} \cdot GEN_{hydro, vtime, dem, runtime} \\
& \perp pHE_{hydro, runtime}
\end{aligned}$$

Η τιμή του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, ορίζεται ως:

$$pSUPBU_{ele,t} = \sum_{tec, vtime, dem} \left[\sum_{pr \in \text{mapin} p_{tec, pr, tec}} (pIO_{pr,t} \cdot FUEL_{pr,t}) + vomc_{tec,0} \cdot \sum_{\forall pr} \left(vomcco_{pr, tec} \cdot e^{-tge0_{pr \in ene, t}} \cdot \frac{pIO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} + vomccol_{tec} \cdot \frac{pL_t}{pl_0} \right) + pKT_{tec, vtime, dem, t} + pHE_{tec \in hydro, t} \right] \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec, vtime, dem, t} / \sum_{tec, vtime, dem} dur_{dem} \cdot GEN_{tec, vtime, dem, t}$$

**Τιμή κλάδου
Ηλεκτροπαραγωγής
(Η.Π.)
(5.14)**

Τέλος, ορίζουμε τις μεταβλητές που κάνουν τη μετατροπή των ποσοτήτων ώστε το σύστημα των μονάδων μεταξύ των δύο υποδειγμάτων να είναι συνεπές, καθώς και τις μεταβλητές που καθορίζουν τη ζήτηση ενδιάμεσων αγαθών, εργασίας, κεφαλαίου και επενδύσεων του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας συνολικά:

$$pINVT_{tec,t} = \sum_{\forall prr} techdinv_{pr, tec} \cdot e^{-tge0_{pr \in ene, t}} \cdot pINVP_{pr, t}$$

**Δείκτης που
σχετίζεται με
το οριακό
κόστος
κατασκευής
νέων
εργοστασίων
(5.15)**

$$INVT_{tec,t} = KAVCT_{tec,t+5}$$

**Ύψος
επένδυσης
έτους t
(5.16)**

$$INVTBU_t = \sum_{tec} pINVT_{tec,t} \cdot INVT_{tec,t} \cdot \left(scaleq \cdot \frac{scalepinv}{(10^e)} \right)$$

**Χρηματικές
απαιτήσεις
κλάδου Η.Ε.
(5.17)**

$$INVTV_{pr,tec,t} = techdinv_{pr,tec} \cdot e^{-tge0_{prene,t}} \cdot \left(\frac{pinvt_{tec,0}}{pinvp_{pr,0}} \right) \cdot INVT_{tec,t} \cdot \left(scaleq \cdot \frac{scalepinv}{(10^3)} \right)$$

**Ζήτηση για
ενδιάμεσα
αγαθά για την
κατασκευή
νέων
εργοστασίων
(5.18)**

$$LAVTBU_{ele,t} = DIST_{ele,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) \cdot distcol \cdot \left(\frac{pdist_0}{pl_0} \right) + \sum_{tec,vtime,dem} \left(\frac{vomc}{pl_0} \right) \cdot vomccol_{tec} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right)$$

**Ζήτηση
εργασίας
κλάδου Η.Ε.
(5.19)**

$$KAVTBU_{ele,t} = \sum_{tec,vtime,dem} pKT_{tec,vtime,dem,t} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) + \sum_{tec \in hydro,vtime,dem} pHE_{tec \in hydro,vtime,dem,t} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right)$$

**Πρόσοδοι
καταναλωτών
από τον κλάδο
Η.Ε. (5.20)**

$$IOVTBU_{pr,ele,t} = DIST_{ele,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) \cdot distco \cdot e^{-tge0_{prene,t}} \cdot \left(\frac{pdist_0}{pio_{pr,0}} \right) + \sum_{tec \in mapinpte_{pr,tec,vtime,dem}} FUEL_{tec,vtime,dem,t} + \sum_{tec,vtime,dem} \left(\frac{vomc}{pio_{pr,0}} \right) \cdot vomcco_{pr,tec} \cdot e^{-tge0_{prene,t}} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right)$$

**Ζήτηση για
ενδιάμεσα
αγαθά από τον
κλάδο Η.Ε.
(5.21)**

$$\begin{aligned}
XXDELEpr_{ele,br,t} &= \left(IOV_{ele,br,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scaleq}{scaleq} \right) \right) \cdot \theta_{xxd} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{py_{ele,0}} \right)^{sxdwpr} \cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr} \\
&+ \left(IOVTBU_{ele,br \in ele,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scaleq}{scaleq} \right) \right) \\
&\cdot \theta_{xxd} \cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{py_{ele,0}} \right)^{sxdwpr} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr}
\end{aligned}$$

**Ζήτηση Η.Ε.
από τους
παραγωγούς,
σε GWh
(5.22)**

$$\begin{aligned}
XXDELEhsh_{hsh,t} &= \left(HCV_{ele,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scaleq}{scaleq} \right) \right) \cdot \theta_{xxd} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{py_{ele,0}} \right)^{sxdwpr} \cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr}
\end{aligned}$$

**Ζήτηση Η.Ε.
από
αντιπροσωπευτ
ικό
καταναλωτή,
σε GWh
(5.23)**

$$\begin{aligned}
XXDELEgov_{gov,t} &= \left(GCV_{ele,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scaleq}{scaleq} \right) \right) \cdot \theta_{xxd} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{py_{ele,0}} \right)^{sxdwpr} \cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr}
\end{aligned}$$

**Ζήτηση Η.Ε.
από το κράτος,
σε GWh
(5.24)**

$$\begin{aligned}
XXDELEinv_{inv,t} &= \left(HCV_{ele,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scaleq}{scaleq} \right) \right) \cdot \theta_{xxd} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{py_{ele,0}} \right)^{sxdwpr} \cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,0}}{pXXD_{ele,t}} \right)^{1-sxdwpr}
\end{aligned}$$

**Ζήτηση Η.Ε.
από τον κλάδο
των
επενδύσεων, σε
GWh
(5.25)**

$$\begin{aligned}
XXDELEex_{ex,t} &= \left(EXPO_{ele,t} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot scalep}{scaleq} \right) \right) \cdot \theta_{xxd} \\
&\cdot \left(\frac{pY_{ele,t}}{pY_{ele,0}} \right)^{sxdw_{pr}} \cdot \left(\frac{pXXD_{ele,t}}{pXXD_{ele,0}} \right)^{1-sxdw_{pr}}
\end{aligned}$$

**Ζήτηση Η.Ε.
για εξαγωγές,
σε GWh
(5.26)**

Όπου:

$maprptec_{(pr, tec)}$: παράμετρος που αντιστοιχίζει τους κλάδους καυσίμων με τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής που τα χρησιμοποιούν

$techdinv_{pr,tec}$ ⁴³: τεχνικός συντελεστής του κλάδου κατασκευής κεφαλαίου. Δίνεται εξωγενώς

$vomcco_{pr,tec}$: μερίδιο ενδιάμεσου αγαθού pr στο μεταβλητό κόστος της τεχνολογίας tec

$vomccol_{tec}$: μερίδιο της εργασίας στο μεταβλητό κόστος της τεχνολογίας tec

Τέλος, αναδιαμορφώνονται οι παρακάτω εξισώσεις του μακροοικονομικού υποδείγματος:

$$IOV_{pr,ele,t} = IOVTBU_{pr,ele,t}$$

**Ζήτηση
Λοιπών
Αγαθών από
τον κλάδο της
Η.Ε.
(3.27.δ)**

$$LAVC_t \geq \sum_{pr} LAV_{pr,t} + LAVTBU_{ele,t} \perp pL_t$$

**Η ζήτηση για
εργασία
περιορίζεται
από τη
συνολικά
διαθέσιμη
(3.59)**

⁴³ Η δομή του κόστους κατασκευής της δυναμικότητας της κάθε τεχνολογίας διαφέρει. Ο υπολογισμός των μεριδίων έγινε από . Οι υπόλοιποι κλάδοι της οικονομίας κατασκευάζουν το κεφάλαιό τους με τη χρήση των ίδιων τεχνικών συντελεστών ως προς τις εισόδους τους.

$$INCHS_t = \sum_{pr} pK_t \cdot KAV_{pr,t} + pL_t \cdot LAV_{pr,t} + pRS_{pr,t} \cdot RESC_{pr,t} + KAVTBU_{ele,t}$$

Εισόδημα
νοικοκυριών
(3.60)

$$\sum_{pr} pINV_{pr,t} \cdot INVV_{pr,t} + INVTBU_{ele,t} = SAV_t \perp RLTLR_t$$

IS – LM
(3.67)

Το σύνολο των εξισώσεων (3.17) – (3.67) , (5.1) – (5.26), συνιστούν το Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας που επιλύεται με τη χρήση του λογισμικού GAMS⁴⁴. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειώσουμε ότι με την υλοποίηση αυτή ενσωματώνουμε ένα τους περιορισμούς ενός προβλήματος ισορροπίας (της ηλεκτρικής αγοράς) σε ένα πρόβλημα ισορροπίας όλων των υπόλοιπων κλάδων της οικονομίας, . Συνεπώς, το συνολικό πρόβλημα είναι ένα Πρόβλημα Ισορροπίας με Περιορισμούς Ισορροπίας (*Equilibrium Problem with Equilibrium Constraints – EPEC*)⁴⁵.

Ακόμη, θα πρέπει να διαχωρίσουμε τους διαφορετικούς χρόνους που υπεισέρχονται στο υπόδειγμα. Ο χρόνος t είναι ο χρόνος για τον οποίο επιλύεται το υπόδειγμα και ταυτίζεται με τον ts κάθε φορά. Ο χρόνος *runtime* αναφέρεται στον ορίζοντα επίλυσης του προβλήματος της ηλεκτροπαραγωγής. Τέλος, ο χρόνος *vtime* είναι το έτος δημιουργίας του κάθε εργοστασίου. Όπως και πριν, ισχύει ότι: $vtime \leq ts \leq runtime \leq lstyear$.

Τέλος, για την προσαρμογή στο έτος βάσης επιλέχθηκε η μέθοδος που προτείνουν οι (Rausch & Mowers, Report No. 225, 2012). Κλασσικές μέθοδοι προσαρμογής στο έτος βάση⁴⁶ όταν εμφανίζονται ασυνέπειες στον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής ή όταν καλούμαστε να συγκεράσουμε διαφορετικές βάσεις δεδομένων δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτήν την περίπτωση, μιας και η αρχική κατάσταση δίνεται ως αποτέλεσμα ενός προβλήματος ισορροπίας (εδώ του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής) που δεν μπορεί να οριστεί επακριβώς πριν από την επίλυσή του. Σε κάθε περίπτωση, η

⁴⁴ Για περισσότερα σχετικά με το GAMS, βλέπε (GAMS Development Corporation, 2015).

⁴⁵ Για περισσότερα πάνω στη μορφοποίηση και τις μεθόδους επίλυσης των EPEC, βλέπε (Gabriel, Conejo, Fuller, Hobbs, & Ruiz, 2012), κεφάλαιο 7.

⁴⁶ Μία από αυτές προτείνεται στο (Wing I. S., 2008). Εδώ ο συγκερασμός των δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω της ελαχιστοποίησης της απόστασης των σφαλμάτων για το σύνολο των προς υπολογισμό στοιχείων του Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής, ώστε τα τεchnο – οικονομικά δεδομένα του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής να είναι συνεπή με τον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για ένα απλουστευμένο υπόδειγμα αντίστοιχο αυτού των (Bohringer & Rutherford, 2005) και άρα δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα υπόδειγμα όπως αυτό που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ανάπτυξη συστηματικής μεθόδου προσαρμογής στο έτος βάσης τέτοιου τύπου υποδειγμάτων αποτελεί ένα ενδιαφέρον ζήτημα που όμως ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Σύμφωνα με την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε, επιλέγονται αρχικά οι αρχικές τιμές για όλους τους άλλους κλάδους πλην του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, επιλέγονται τα αρχικά επίπεδα ζήτησης Η.Ε. από τον κάθε κλάδο. Η ζήτηση Η.Ε. και οι τιμές επαρκούν για να λύσει μια φορά το ΒUm μόνο του και να καθορίσει την άριστη τιμή ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και τις αμοιβές της κάθε τεχνολογίας. Δεδομένων των αμοιβών του κλάδου Η.Ε. στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής και έπειτα των πληρωμών του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής στις διαφορετικές τεχνολογίες, έχουμε τις πληρωμές της κάθε τεχνολογίας στον κάθε συντελεστή παραγωγής. Έτσι, οι αμοιβές του κλάδου μεταφοράς και διανομής προκύπτουν ως «υπόλοιπο» (*residual*) ύστερα από την αφαίρεση από τα κελιά της της Η.Ε. του Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής των πληρωμών των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στους αντίστοιχους κλάδους και συντελεστές παραγωγής. Έτσι, εξασφαλίζεται η συνέπεια των πληρωμών που εμφανίζονται στον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής με τα τεchnο – οικονομικά δεδομένα του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής.

6

Αριθμητική εφαρμογή του υποδείγματος – Αποτελέσματα σεναρίων

6.1. Σενάριο Αναφοράς

6.1.1. Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο Αναφοράς

Όπως αναλύσαμε στην παράγραφο 3.1., το υπόδειγμα επιλύει διαδοχικά προβλήματα ισορροπίας για τα έτη 2011, 2015, 2020, 2025 και 2030. Οι αποφάσεις που σχετίζονται με την εξέλιξη της οικονομίας λαμβάνονται είτε εξωγενώς δεδομένα (όπως για την περίπτωση της εξέλιξης της προσφοράς εργασίας στην Ελλάδα⁴⁷) είτε θεωρείται ότι οι αποφασίζοντες έχουν μυωπικές προσδοκίες. Για τη μέτρηση της ευημερίας των νοικοκυριών, ακολουθείται η προσέγγιση των (Shoven & Whalley, 1984). Έτσι, η Ισοδύναμη Μεταβολή (*Equivalent Variation – EV*) της ευημερίας τους δίνεται από τον τύπο:

$$EV = \frac{U^N - U^o}{U^o} \cdot INCHS_t \quad (6.1.)$$

⁴⁷ Η εξέλιξη της προσφοράς εργασίας στην Ελλάδα λαμβάνεται από (European Commission, 2014).

και αποτυπώνει πόσο βελτιώνεται η χρησιμότητά τους για ένα ορισμένο επίπεδο τιμών. Επιλέγεται η ισοδύναμη μεταβολή για τη μέτρηση της ευημερίας, μιας και εάν είναι θετική, τότε βελτιώνεται η ευημερία των καταναλωτών και το αντίστροφο.

Για την εισαγωγή του φόρου στο σενάριο αναφοράς, θα πρέπει να ορίσουμε άλλη μία εξίσωση που θα αποτελεί τον μηχανισμό ανακύκλωσης των εσόδων. Όπως είπαμε, τα έσοδα πηγαίνουν για τη μείωση των ασφαλιστικών εισφορών των εργαζομένων:

$$pL_t \cdot TXL_t \cdot LAVC_t \quad (6.1.)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{\forall pr} \frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}} \cdot txcarb f_t \cdot \sum_{\forall br} EMCO2IOV_{pr,br,t} \\ &+ \sum_{\forall pr} \frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}} \cdot txcarb f_t \cdot EMCO2HCV_{pr,t} \\ &+ \sum_{\forall pr} \frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}} \cdot txcarb f_t \cdot EMCO2GCV_{pr,t} \\ &+ \sum_{\forall pr} \frac{pY_{pr,t}}{pY_{pr,0}} \cdot txcarb f_t \cdot EMCO2INVD_{pr,t} \\ &\perp TXLSC1_t \end{aligned}$$

$$EMCO2IOV_{pr,br,t} = IOV_{pr,br,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2IOV_{pr,br,t} \quad (6.2.)$$

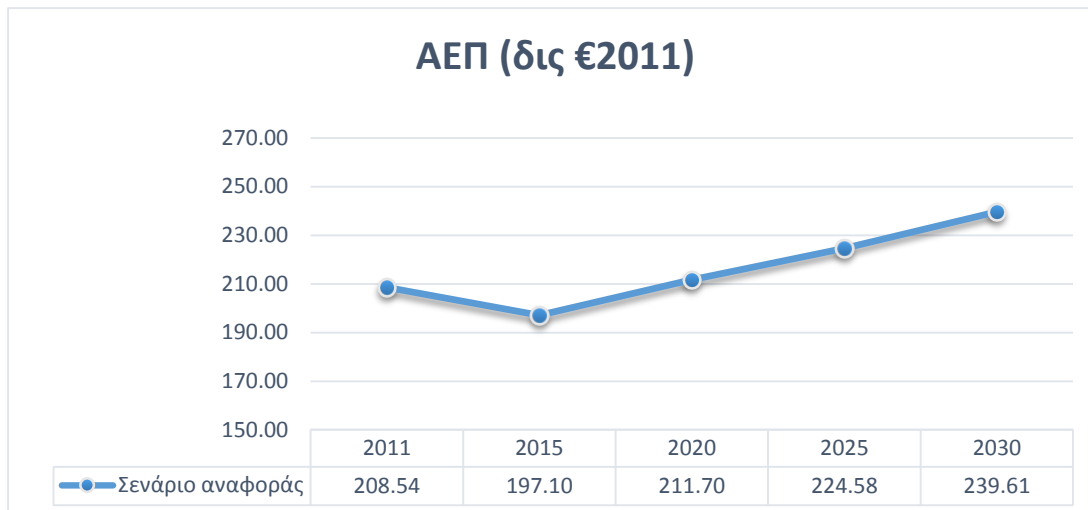
$$\begin{aligned} EMCO2IOVTBU_{pr,ele,t} &= IOVTBU_{pr,ele,t} \cdot emfCO2_{pr} \\ &\perp EMCO2IOVTBU_{pr,br,t} \end{aligned} \quad (6.3.)$$

$$EMCO2HCV_{pr,t} = HCV_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2HCV_{pr,t} \quad (6.4.)$$

$$EMCO2GCV_{pr,t} = GCV_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2GCV_{pr,t} \quad (6.5.)$$

$$EMCO2INVD_{pr,t} = INVD_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2INVD_{pr,t} \quad (6.6.)$$

$$\begin{aligned} EMCO2_t &= \sum_{\forall pr,br} EMCO2IOV_{pr,br,t} + \sum_{\forall pr} EMCO2HCV_{pr,t} \\ &+ \sum_{\forall pr} EMCO2GCV_{pr,t} \\ &+ \sum_{\forall pr} EMCO2INVD_{pr,t} \perp EMCO2_t \end{aligned} \quad (6.7.)$$

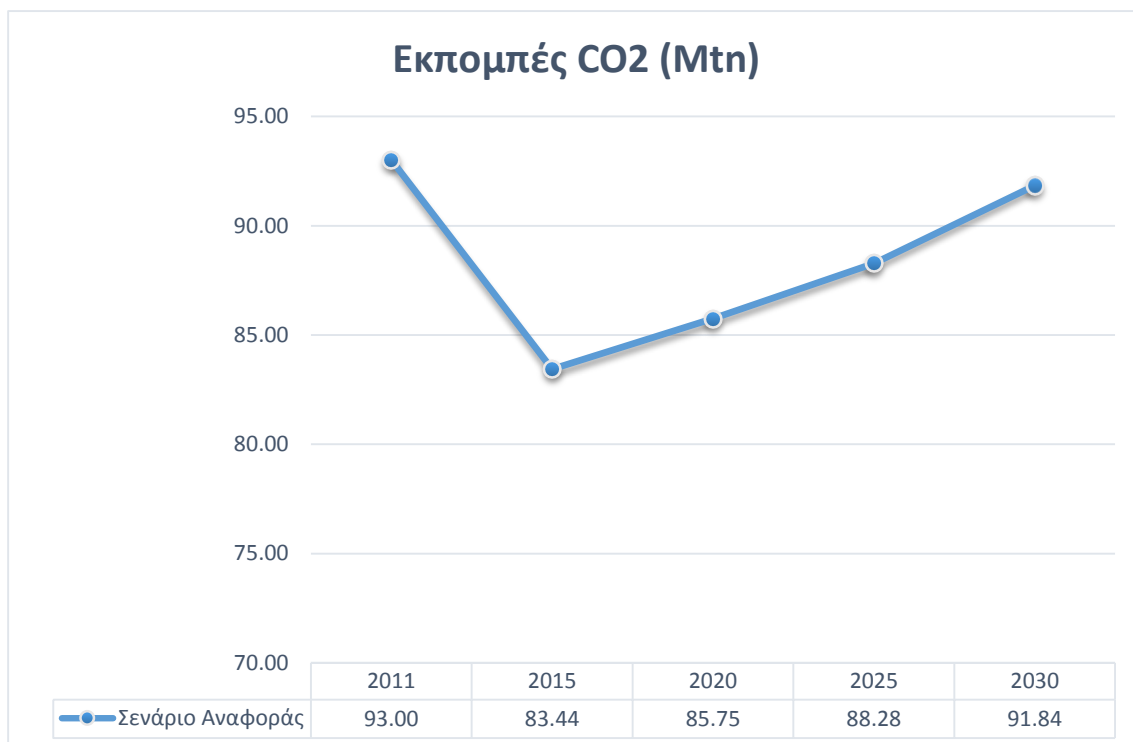


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Έπειτα, οι συνολικές εκπομπές ρύπων εξαρτώνται από την ποσότητα καυσίμων που καταναλώνονται. Εύλογα μπορούμε να υποθέσουμε ότι όσο αυξάνεται το ΑΕΠ, τόσο περισσότερα καύσιμα θα απαιτούνται για κατανάλωση – λόγω της αύξησης των εισοδημάτων – και για παραγωγή – λόγω της αύξησης της ζήτησης. Επομένως, αναμένουμε και οι εκπομπές ρύπων να ακολουθούν, σαν τάση, το ΑΕΠ. Η τιμή των εκπομπών, καθώς και η ελάφρυνση των ασφαλιστικών εισφορών δίνονται για το σενάριο αναφοράς:

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
$txcarb_f_t$ (€2011/Mtn)		5.00	10.00	14.00	35.00	57.00	78.00
TXL_t (€2011/h)		0.05	0.10	0.14	0.30		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2 (ΜΤΝ) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Για την αξιολόγηση του ποιος παράγοντας επιδρά περισσότερο στις εκπομπές ρύπων, επιλέγεται η «*Ταυτότητα Kaya*» (*Kaya Identity*). Με την συγκεκριμένη ταυτότητα γίνεται φανερό ποιος από τους παράγοντες της δραστηριότητας της οικονομίας, της ενεργειακής εξοικονόμησης και της τιμής εκπομπών ρύπων επηρεάζει τη μεταβολή των εκπομπών⁴⁸:

$$Emmissions = population_t \cdot \left(\frac{GDP_t}{population_t} \right) \cdot \left(\frac{Primary Energy_t}{GDP_t} \right) \cdot \left(\frac{Emmissions_t}{Primary Energy_t} \right) \quad (6.8)$$

Τα διαφορετικά συστατικά της ταυτότητας, για το σενάριο αναφοράς, υπολογίστηκαν:

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
$\left(\frac{GDP_t}{population_t} \right)$	24.72969	21.91832	23.02236	23.65554	25.1763
$\left(\frac{Primary Energy_t}{GDP_t} \right)$	0.391668	0.386067	0.370938	0.362928	0.353142
$\left(\frac{Emmissions_t}{Primary Energy_t} \right)$	0.391668	0.386067	0.370938	0.362928	0.353142

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΑΥΑ

⁴⁸ Βλέπε (Capros, και συν., 2014).

6.1.2. Αλλαγές στην αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο Αναφοράς

6.1.2.1. Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο Αναφοράς

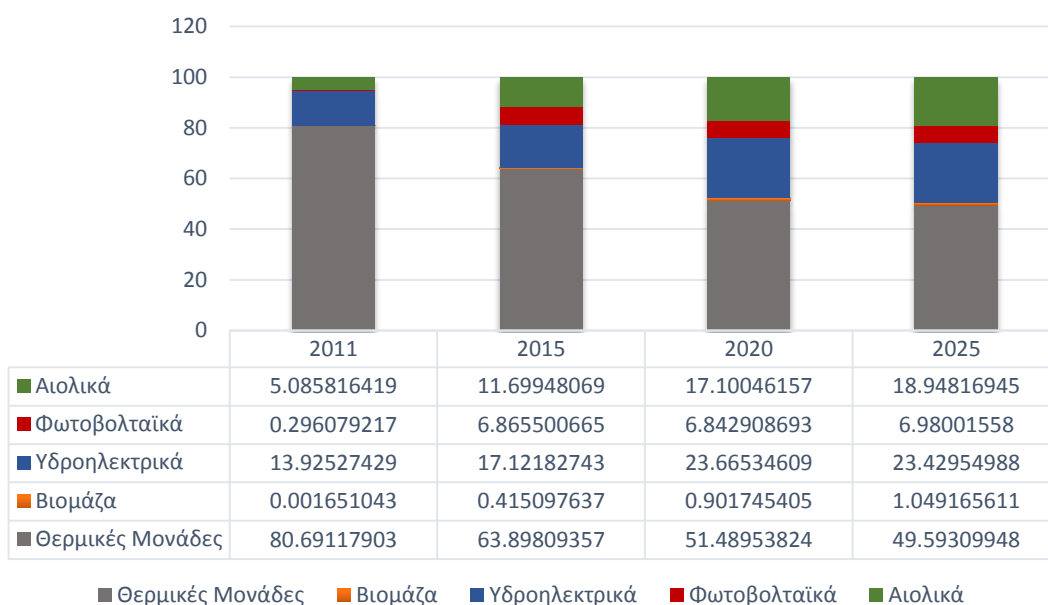
Στον κλάδο της Ηλεκτρικής Ενέργειας βλέπουμε ότι επιβεβαιώνεται η σχέση μεταξύ ΑΕΠ και ζήτησης. Για το έτος 2015, όταν και το ΑΕΠ μειώνεται, παρατηρούμε μια μείωση της ζήτησης. Από εκεί κι έπειτα, η ζήτηση αυξάνεται. Ακόμη, η εισαγωγή ΑΠΕ έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής της ηλεκτροπαραγωγής, μιας και παράγουν με οριακό κόστος σχεδόν μηδενικό. Αυτό επιδρά άμεσα και στη συνολική τιμή της Η.Ε., η οποία μειώνεται επίσης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤWh) ΑΠΟ ΕΓΧΩΡΙΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥΣ – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

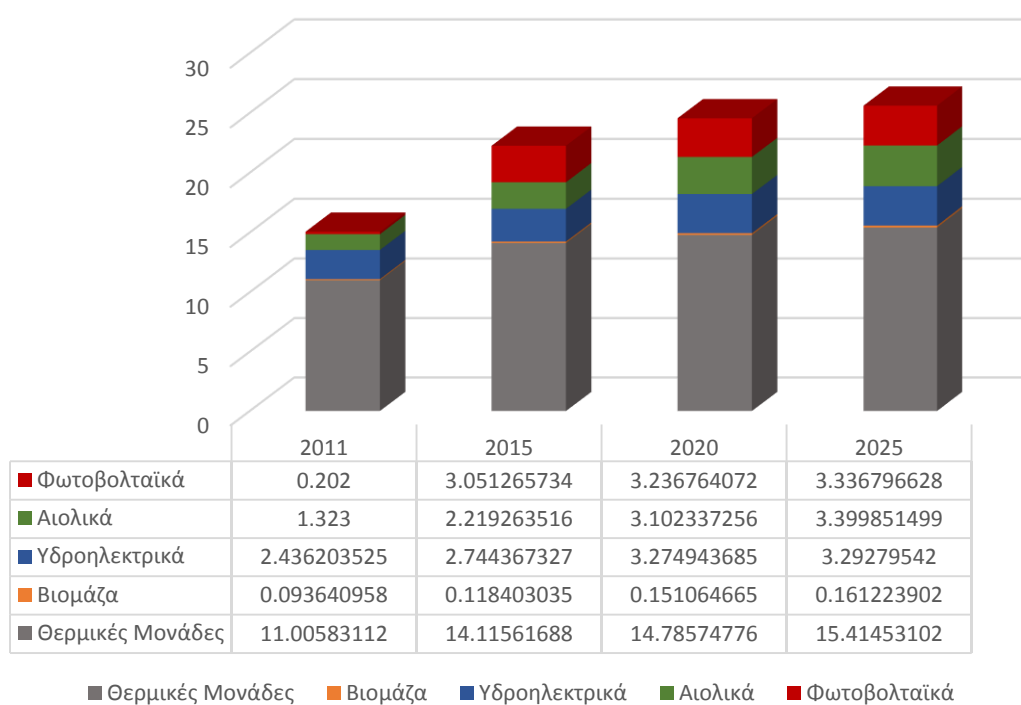
Οι επενδύσεις σε ΑΠΕ – και ως αποτέλεσμα του φόρου ρύπων διοξειδίου του άνθρακα – έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του μείγματος. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς κάθε έτος, καθώς και η ποσότητα της ζήτησης που αναλαμβάνει η κάθε τεχνολογία (δηλαδή, τα μερίδια της κάθε μιας στην Ηλεκτροπαραγωγή), δίνονται παρακάτω:

Μερίδια τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής (TWh)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΩΣ ΚΟΜΜΑΤΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

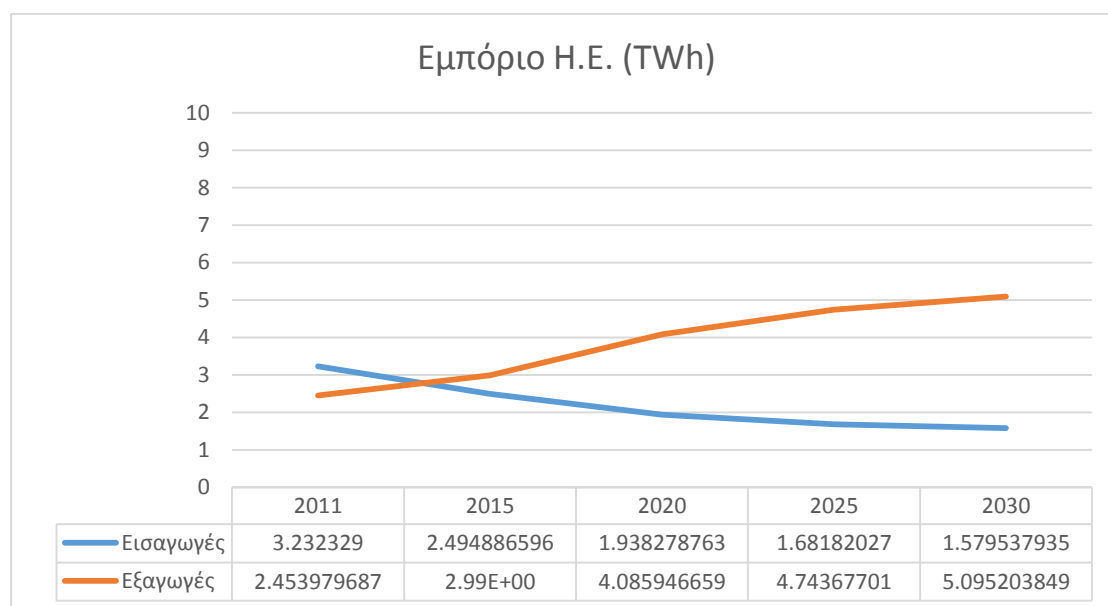
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

6.1.2.2. Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο Αναφοράς

Η αλλαγή του μείγματος παραγωγής ως αποτέλεσμα της εισαγωγής ΑΠΕ, όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, προκαλεί μείωση της τιμής της Η.Ε. Η τιμή παραγωγής των εγχώριων παραγωγών, όμως, μειώνεται και σε σχέση με τη διεθνή τιμή Η.Ε. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, με την πάροδο του χρόνου, οι εξαγωγές να αυξάνονται και οι εισαγωγές να μειώνονται, μιας και τόσο οι εγχώριοι όσο και οι καταναλωτές το εξωτερικού στρέφονται προς τους εγχώριους παραγωγούς.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (TWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

6.2. Σενάριο 1: Αύξηση της τιμής εκπομπών ρύπων

6.2.1. Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο 1

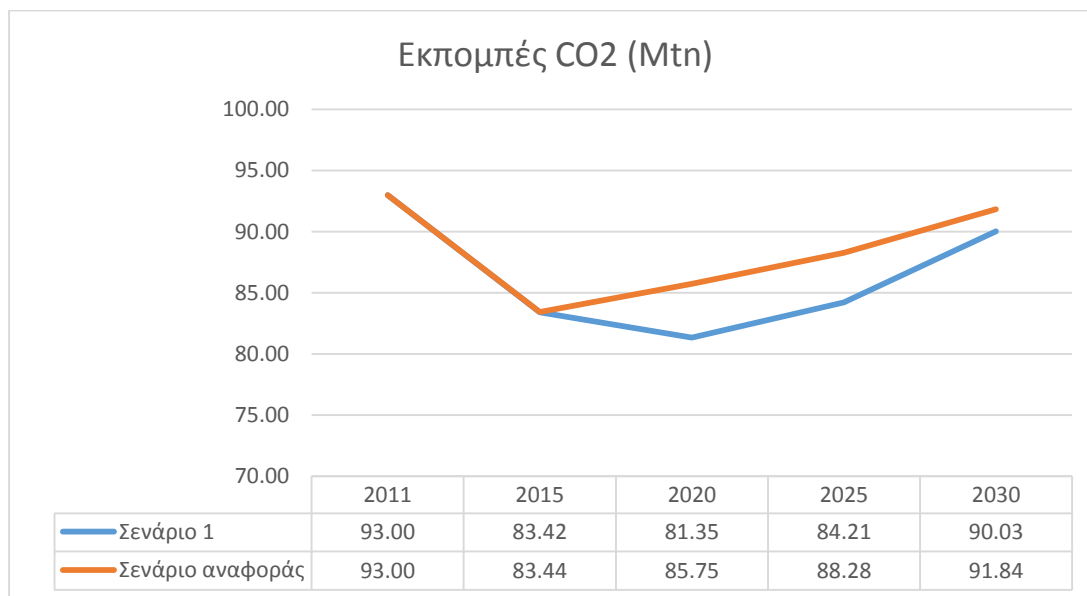
Με την αύξηση του φόρου εκπομπών ρύπων αναμένουμε καταρχήν να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων, μιας και τα καύσιμα καθίστανται πιο ακριβά, κάτι που μειώνει την κατανάλωσή τους. Η ακριβής φορολόγηση δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΣΕΝΑΡΙΟ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Σενάριο Αναφοράς		5.00	10.00	14.00	35.00	57.00	78.00
Σενάριο 1		5.00	30.00	40.00	50.00	60.00	100.00
Ποσοστιαία μεταβολή του φόρου μεταξύ σεναρίων		1	3	2.86	1.43	1.05	1.28

TXL_t
(€2011/h)

0.05 0.27 0.34 0.39

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2 (ΣΕ ΜΤΝ) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Για να αξιολογήσουμε ποιος παράγοντας επιδρά στις εκπομπές ρύπων, θα πρέπει να ανατρέξουμε στην ταυτότητα Kaya, για την οποία έχουμε:

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
$\left(\frac{GDP_t}{population_t}\right)$	1	0.999981217	0.981973	0.980362	0.993923
$\left(\frac{Primary Energy_t}{GDP_t}\right)$	1	0.999766616	0.993506	0.993327	0.995924
$\left(\frac{Emmissions_t}{Primary Energy_t}\right)$	1	1.000004065	0.972432	0.979693	0.990224

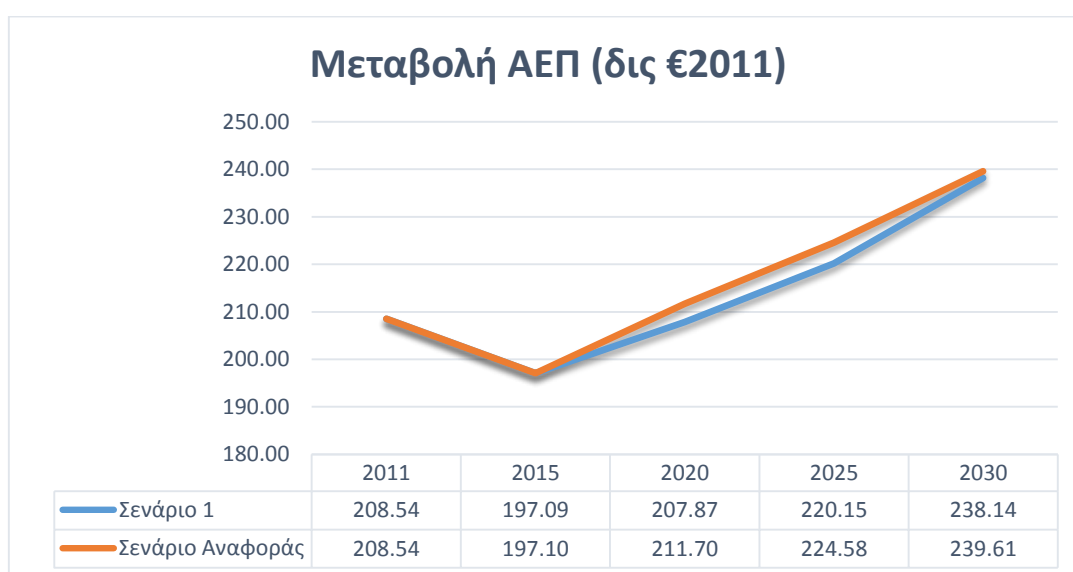
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΕΙΚΤΩΝ – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Η ταυτότητα επαληθεύεται εδώ, μιας και τη μεγαλύτερη μεταβολή την παρουσιάζει ο τρίτος δείκτης, που είναι μια ένδειξη του κατά πόσον οι εκπομπές επηρεάζονται από τη φορολόγηση των εκπομπών ρύπων. Η σχέση ίσως δεν είναι εμφανής με την πρώτη ματιά, αλλά αρκεί να σκεφτούμε ότι με την εισαγωγή ενός φόρου εκπομπών ρύπων, αυτομάτως η κατανάλωση καυσίμων μειώνεται, διότι τα καύσιμα γίνονται ακριβότερα.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η απόκλιση από το σενάριο αναφοράς είναι μεγαλύτερη το 2020 και έπειτα αρχίζει να εξομαλύνεται. Αυτό οφείλεται στο ότι τότε

παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση του φόρου εκπομπών σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Από το 2020 και έπειτα να μην έχουμε αύξηση του φόρου – άρα και απόκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ των σεναρίων – αλλά ο ρυθμός αύξησής τους μειώνεται, με αποτέλεσμα και η διαφορά να βαίνει μειούμενη.

Έπειτα, αυτή η αύξηση της τιμής σημαίνει πως τα νοικοκυριά δυσκολεύονται να αγοράσουν τα αντίστοιχα προϊόντα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η χρησιμότητα που λαμβάνουν τα νοικοκυριά. Αντίστοιχα, το ΑΕΠ θα πρέπει να εμφανίζει μείωση. Το ακριβές αντίκτυπο της πολιτικής μένει να υπολογιστεί από την ισορροπία. Όμοια με τα υπόλοιπα, αναμένουμε τα αποτελέσματα του Σεναρίου Αναφοράς και του Σεναρίου 1 να συγκλίνουν από το 2020 και έπειτα, λόγω της μείωσης του ρυθμού αύξησης των φόρων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΕΠ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να σταθούμε στο ακριβές αντίκτυπο της πολιτικής στο ΑΕΠ. Η μείωση του ΑΕΠ, είναι:

ΕΤΟΣ	2020	2025	2030
ΑΕΠ	- 1.81	- 1.97	- 0.61

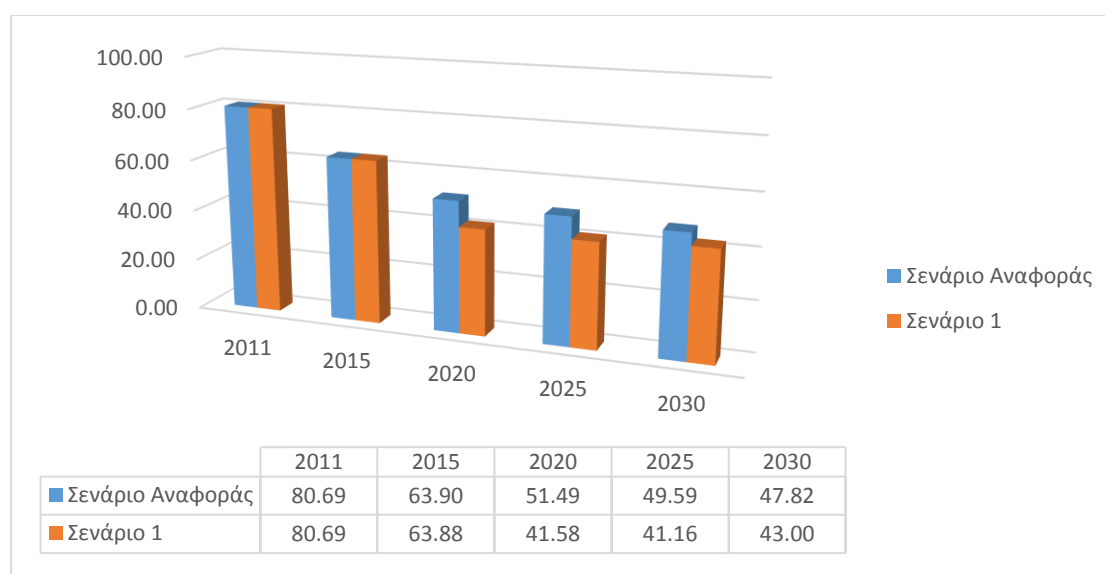
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΕΠ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Δεδομένης της αύξησης των φόρων εκπομπών, το ΑΕΠ φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από όσο αναμέναμε. Ο λόγος είναι η δυσκολία την οποία έχουν οι παραγωγοί να υποκαταστήσουν μεταξύ κεφαλαίου, εργασίας και ενεργειακών προϊόντων (άρα και ηλεκτρισμού).

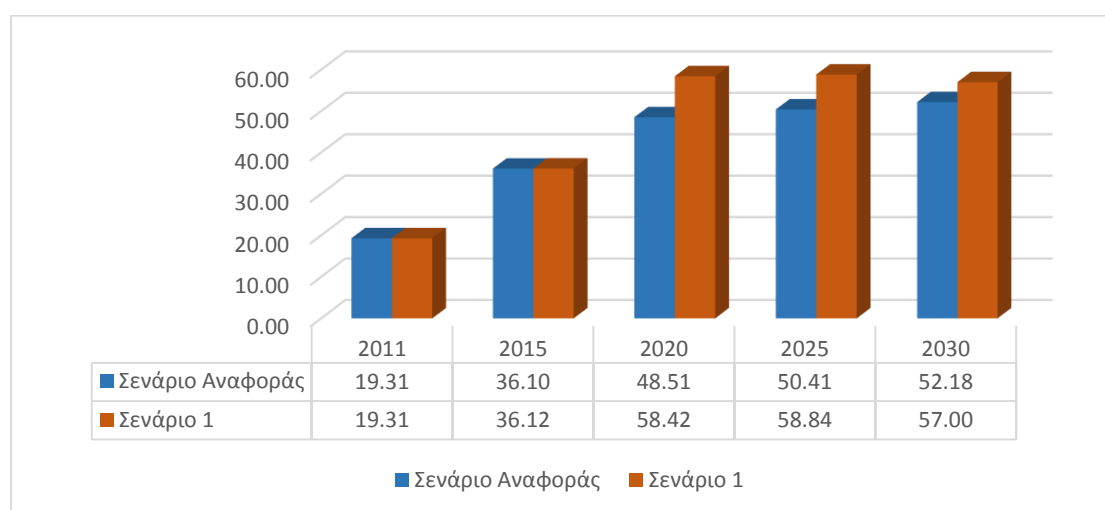
6.2.2. Αλλαγές στην Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 1

6.2.2.1. Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 1

Στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στην αγορά ηλεκτροπαραγωγής παρατηρούμε πτώση της ζήτησης, ως αποτέλεσμα της αύξησης του κόστους παραγωγής των θερμικών σταθμών λόγω της αύξησης της τιμής των εκπομπών. Όπως είναι λογικό, οι λιγνιτικές μονάδες είναι αυτές οι οποίες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβολή, κυρίως λόγω του αυξημένου συντελεστή εκπομπών ρύπων που έχουν. Από την άλλη, ευνοημένες είναι οι ΑΠΕ, των οποίων το μερίδιο στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή αυξάνει:

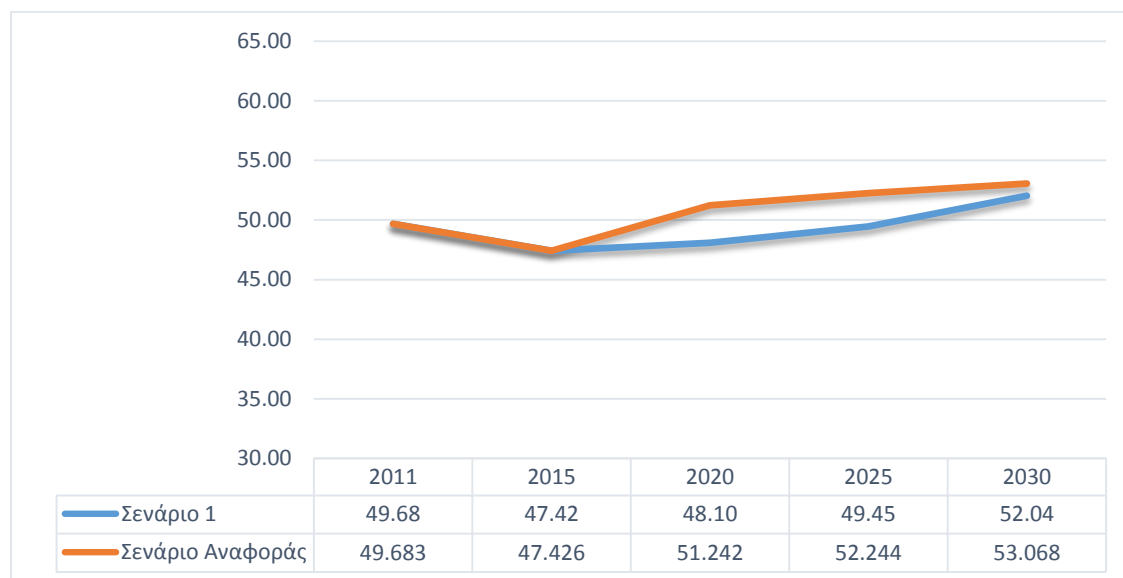


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΡΙΔΙΟΥ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΡΙΔΙΟΥ ΑΠΕ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

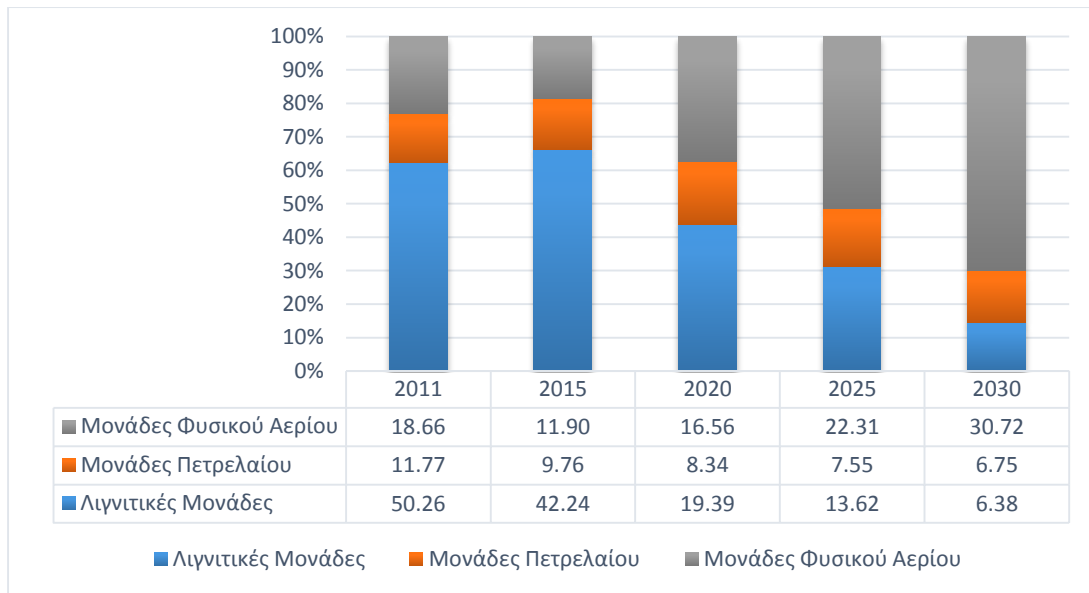
Όπως είναι λογικό, η αύξηση της εισαγωγής ΑΠΕ μειώνει την τιμή ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, με αποτέλεσμα να αλλάζει η ζήτηση Η.Ε.



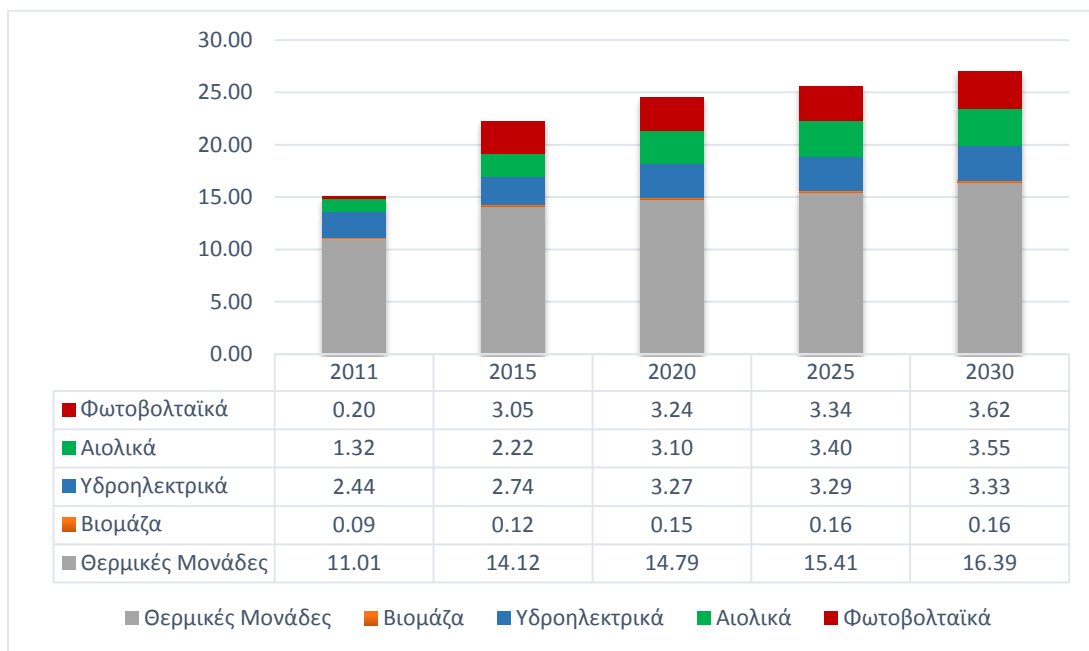
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΤWh)
– ΣΕΝΑΡΙΟ 1**

Εδώ έχουμε δύο αντικρουόμενα φαινόμενα. Από τη μία, η αύξηση του φόρου στις εκπομπές ρύπων προκαλεί αύξηση του οριακού κόστους των θερμικών μονάδων και άρα αρχίζει να μεταβάλλεται το μείγμα καυσίμου. Επειδή οι μονάδες είναι πεπερασμένες, σε πρώτη φάση η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ζήτηση το 2020. Με την πάροδο του χρόνου, όμως, λόγω των επενδύσεων σε ΑΠΕ που ξεπερνούν αυτές του σεναρίου αναφοράς, η ζήτηση τείνει να επανέλθει στην προηγούμενη τιμή της.

Τέλος, αξίζει να δούμε το μείγμα καυσίμου που διαμορφώνεται. Όπως είναι λογικό, το μεγαλύτερο πλήγμα το έχουν οι λιγνιτικές μονάδες, λόγω κυρίως του αυξημένου, σε σχέση με τα άλλα καύσιμα, συντελεστή εκπομπών. Τα μερίδια της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και η εξέλιξη των επενδύσεων, διαμορφώνονται σε αυτό το σενάριο ως εξής:



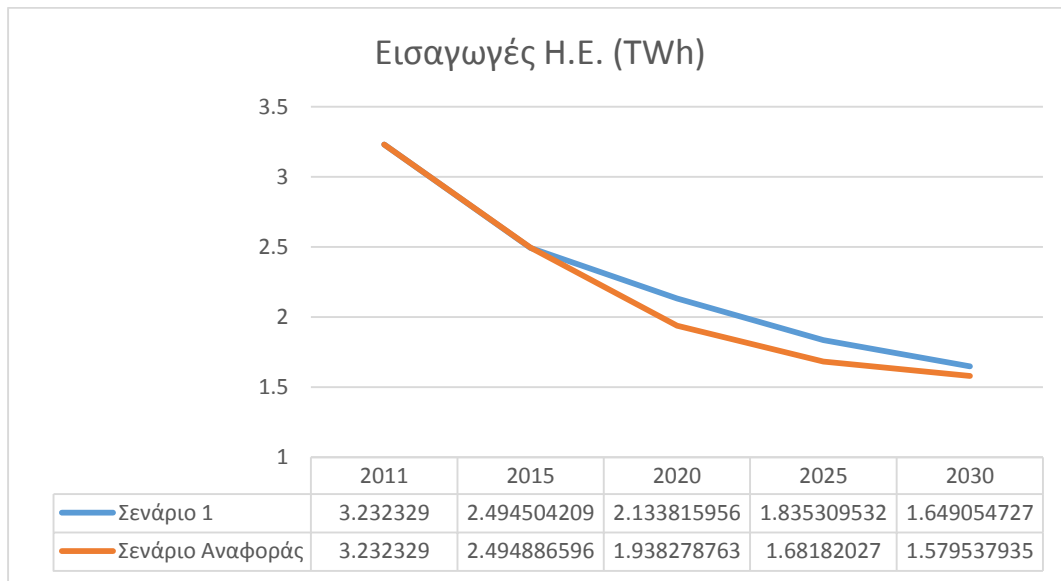
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΜΕΙΓΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (%) - ΣΕΝΑΡΙΟ 1



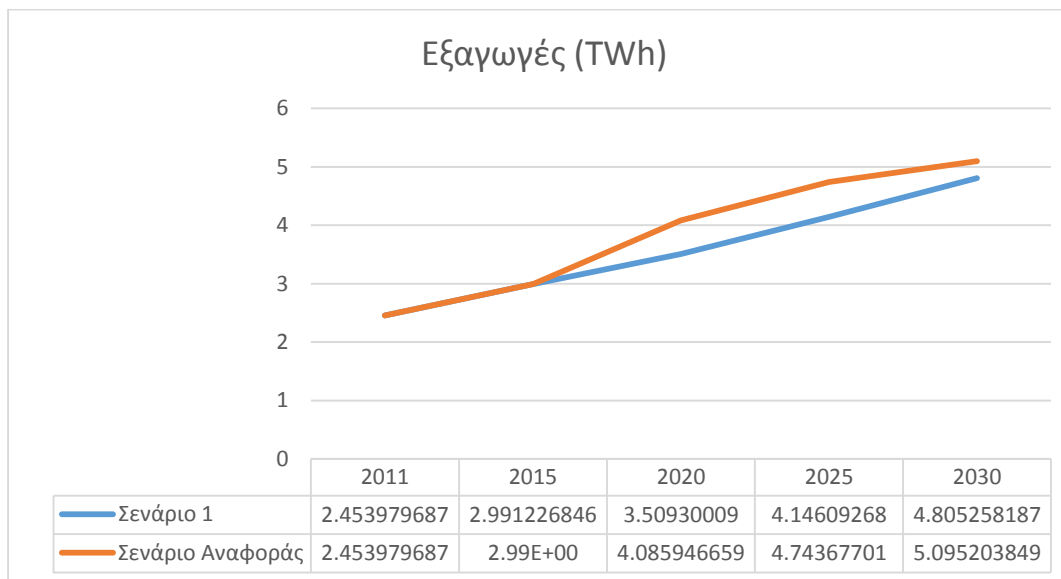
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

6.2.2.2. Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο 1

Δεδομένης της εισαγωγής ΑΠΕ, το βραχυχρόνιο οριακό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με το οποίο ανταγωνίζεται τους παραγωγούς του εξωτερικού, μειώνεται σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξηθούν οι εισαγωγές και να μειωθούν οι εισαγωγές, όπως φαίνεται παρακάτω:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (TWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΞΑΓΩΓΩΝ (TWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

6.3. Σενάριο 2: Επιδότηση ΑΠΕ

6.3.1. Εξέλιξη Μακροοικονομικών Μεταβλητών – Σενάριο 2

Σε αυτό το σενάριο επιδοτούμε τις ΑΠΕ, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
17		-30	-30	-30	-30	-30	-30
18		-30	-30	-30	-30	-30	-30
19		-20	-20	-20	-20	-20	-20
20		-20	-20	-20	-20	-20	-20
21		-20	-20	-20	-20	-20	-20

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΕΠΙΛΟΤΗΣΗ ΑΠΕ (€2011/MWH)

Για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει να αλλάξουμε ορισμένες εξισώσεις, όπως φαίνεται παρακάτω, καθώς και να ορίσουμε την εξίσωση που θα εξασφαλίζει τη χρηματοδότηση των ΑΠΕ:

$$pIO_{ele,t} = pY_{ele,t} \cdot (1 + txind_{ele,t}) \quad (4.43)$$

$$+ \frac{pY_{ele,t}}{pY_{ele,0}} \cdot emfCO2_{ele} \cdot txcarb_{ele,t}$$

$$+ \frac{pY_{ele,t}}{pY_{ele,0}} \cdot TXEXC2_{ele,t} \cdot Y_{ele,t}$$

$$mpF_{tec,vtime,dem,runtime} + \left(\frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime-ts} \cdot vomc_{tec,0} \quad (5.7)$$

$$\cdot \sum_{\forall pr} \left(vomcco_{pr,tec} \cdot e^{-tge0_{pr \in ene,t}} \cdot \frac{pIO_{pr,t}}{pIO_{pr,0}} + vomccol_{tec} \right.$$

$$\left. \cdot \frac{pL_t}{pl_0} \right) + \frac{pINVT_{tec,t}}{pINVT_{tec,0}} \cdot subren_{tec,t}$$

$$+ pKT_{tec,vtime,dem,runtime} + pHE_{tec \in hydro, runtime} +$$

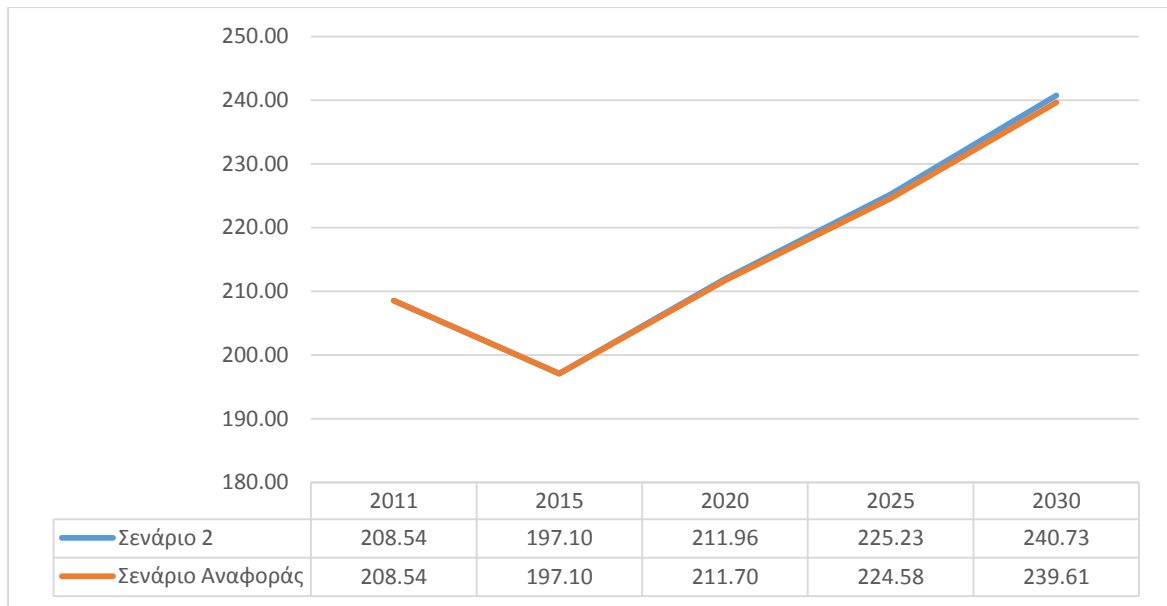
$$\geq pDM_{dem, runtime}$$

$$\perp GEN_{tec,vtime,dem, runtime}$$

$$= \sum_{\forall tec \in Renewables, runvtime, dem} \frac{pINVT_{tec,t}}{pINVT_{tec,0}} \cdot subren_{tec,t} \cdot dur_{dem} \quad (6.9)$$

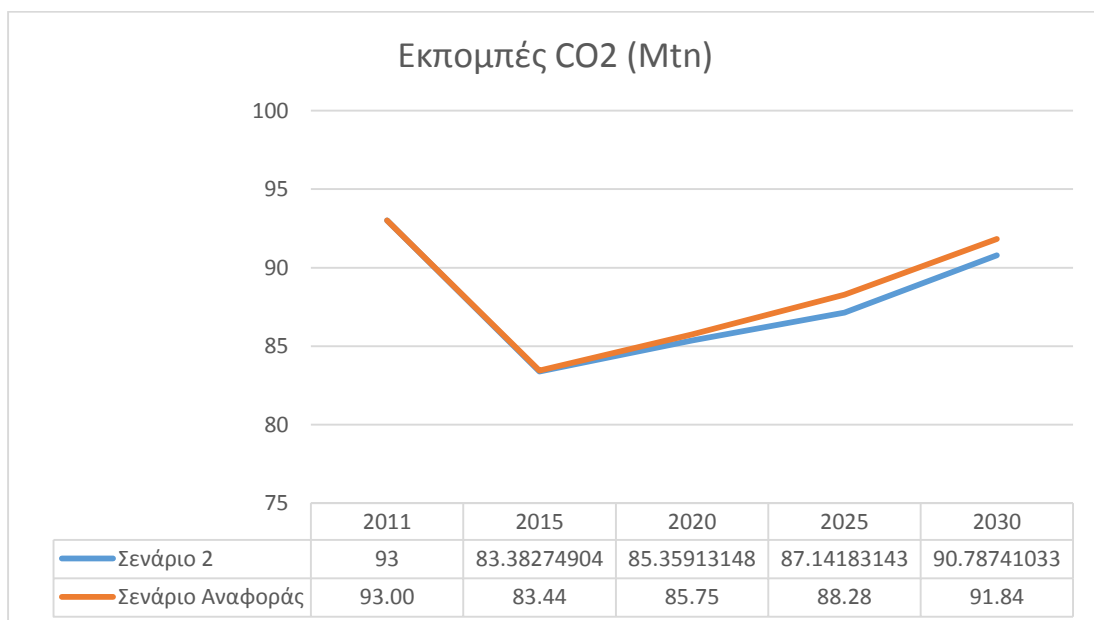
$$\cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot \left(\frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) \perp TXEXC2_{ele,t} \cdot Y_{ele,t}$$

Τα χρήματα αυτά αντλούνται από την εισαγωγή ενός πρόσθετου φόρου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ύψος του φόρου στην ισορροπία καθορίζεται σε τέτοιο σημείο, ώστε η επιχορήγηση των ΑΠΕ να χρηματοδοτείται πλήρως από τα έσοδα μέσω του φόρου. Σε αυτήν την περίπτωση αναμένουμε, ακριβώς όπως και στο Σενάριο 1, μείωση των μακροοικονομικών δεικτών σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, το μικρό ποσό που αντλείται από την οικονομία επηρεάζει ελάχιστα την εξέλιξη του ΑΕΠ και της ισοδύναμης διακύμανσης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ (ΔΙΣ €2011) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Η επιδότηση των ΑΠΕ έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή αλλαγή του μείγματος παραγωγής και άρα τη μείωση της ζήτησης για ορυκτά καύσιμα. Αυτό μεταφράζεται αυτόματα σε μείωση των εκπομπών ρύπων σε σχέση με το Σενάριο Αναφοράς.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2 (ΣΕ ΜΤΝ)

Η τιμή του επιπρόσθετου φόρου κατανάλωσης καθορίζεται από την ισορροπία:

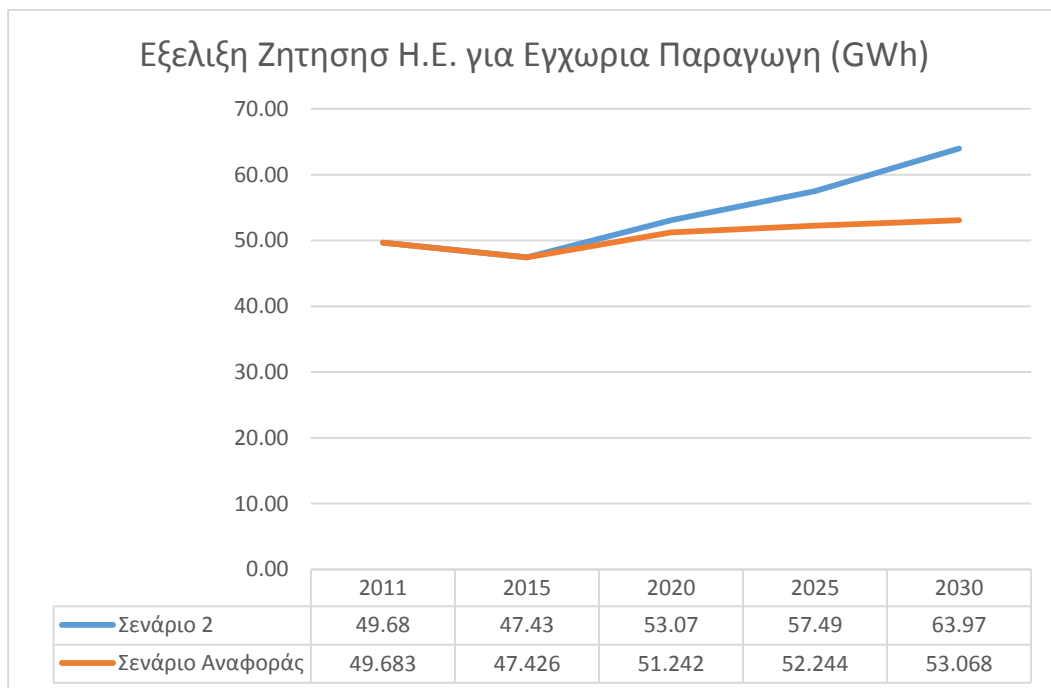
ΕΤΟΣ	2020	2025	2030
ΤΧΕΧC2	6.42	12.47	19.48

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΣ ΦΟΡΟΣ ΚΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ Η.Ε. (€2011/MWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ2

6.3.2. Αλλαγές στην Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 2

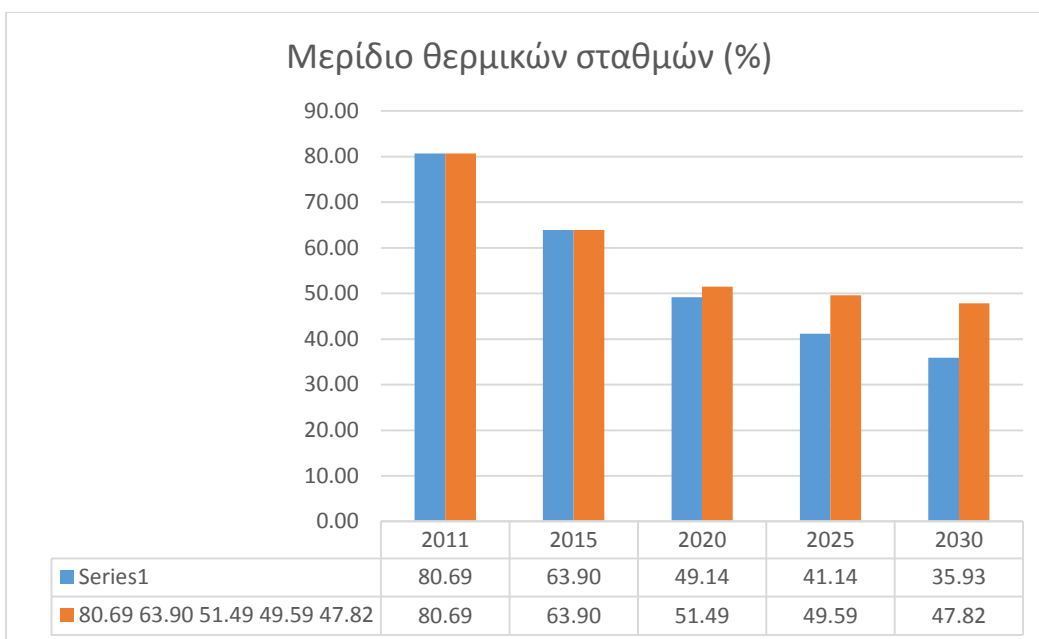
6.3.2.1. Εσωτερική Αγορά Ηλεκτροπαραγωγής – Σενάριο 2

Σε αυτό το σενάριο παρατηρούμε τον εξής ενδιαφέρον μηχανισμό. Από τη μία, λόγω της επιχορήγησης των ΑΠΕ μειώνεται το βραχυχρόνιο οριακό κόστος του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, εφόσον οι τεχνολογίες που επιχορηγούνται έχουν πολύ μικρό οριακό κόστος. Από την άλλη, ο επιπρόσθετος φόρος που εισάγουμε στην κατανάλωση Η.Ε. τείνει να αυξήσει την τιμή που βλέπουν οι καταναλωτές. Το ενδιαφέρον με το σενάριο αυτό έχει να κάνει κυρίως με το ότι δεν θα μπορούσε να μελετηθεί με συνέπεια δίχως την ανάπτυξη ενός τέτοιου υποδείγματος. Ο βασικός λόγος είναι ότι έχουμε μια πολιτική που σχετίζεται με τον κλάδο της Η.Π. (την επιδότηση) η οποία εξισορροπείται από μία κατεύθυνση που επηρεάζει αντίστροφα τη ζήτηση (την εισαγωγή του φόρου). Αυτό που παρατηρούμε εν τέλει είναι ότι η μεταβολή του βραχυχρόνιου οριακού κόστους είναι τέτοια που υπερκερνά την επιβολή του φόρου και έτσι η ζήτηση Η.Ε. αυξάνεται αρκετά.

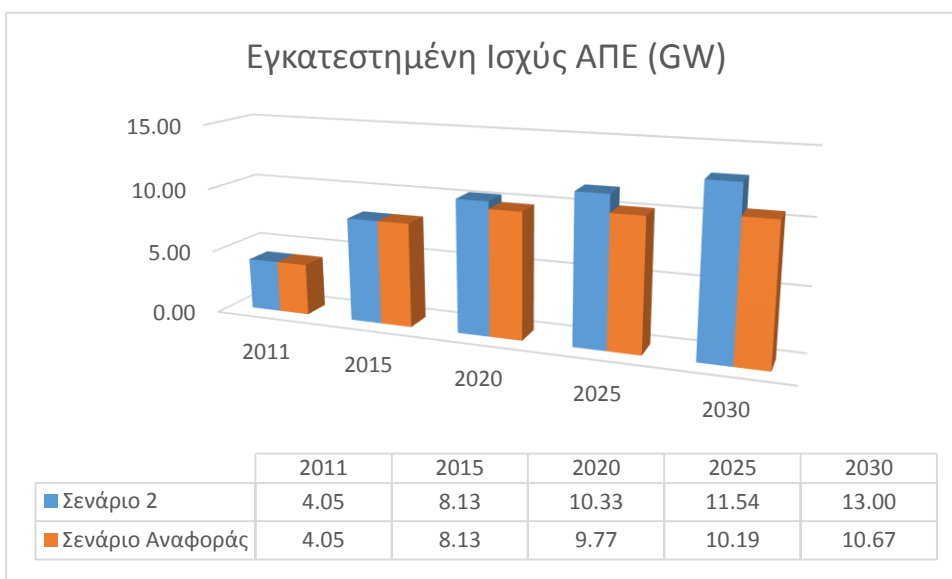


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΕΞΕΛΙΞΗ ΖΗΤΗΣΗΣ Η.Ε. ΓΙΑ ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Τα μερίδια παραγωγής, καθώς και η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος διαφοροποιούνται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου από το σενάριο αναφοράς.



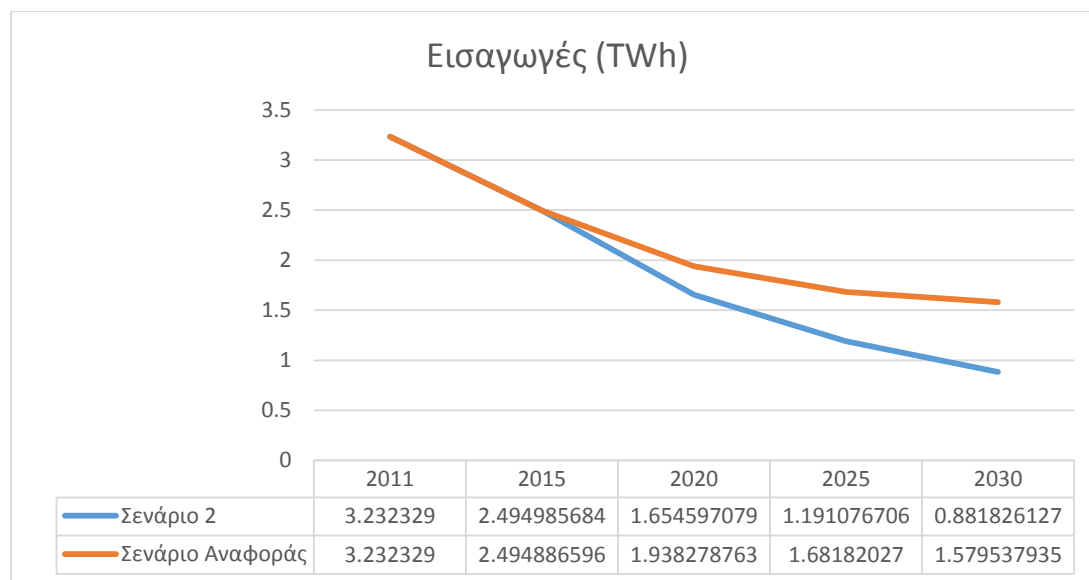
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΜΕΡΙΔΙΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (%) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2



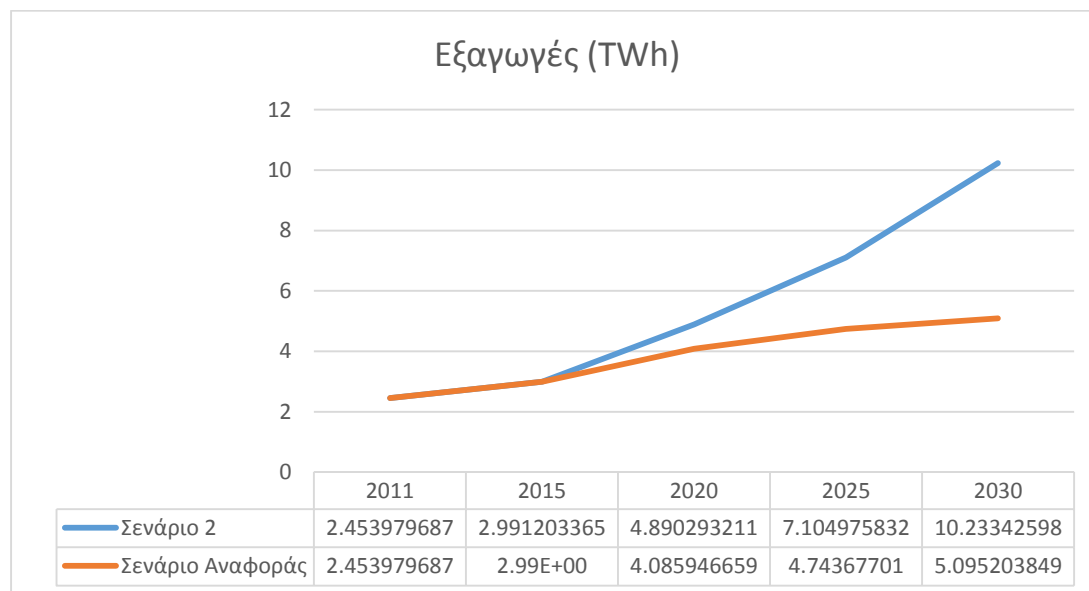
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ (GW) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2

6.3.2.2. Εξωτερικό Εμπόριο – Σενάριο 2

Όμοια με το σενάριο 1, η εισαγωγή ΑΠΕ έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του οριακού κόστους των εγχώριων παραγωγών σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, με αποτέλεσμα και εδώ να παρατηρούμε μείωση των εισαγωγών και αύξηση των εξαγωγών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (TWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ (TWh) – ΣΕΝΑΡΙΟ 2

7

Επίλογος

7.1. Συμπεράσματα

Η δυνατότητα ρεαλιστικότερης αναπαράστασης της διαδικασίας απόφασης του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για το μείγμα καυσίμου, όσο και για τις άριστες επενδύσεις δίνει τη δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης του αντίκτυπου των ενεργειακών πολιτικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη μικροοικονομική απόκριση του κλάδου, όσο και τη μακροοικονομική ανάδραση της υπόλοιπης οικονομίας στις πολιτικές αυτές. Στο πρώτο σενάριο είδαμε το πώς η αύξηση των εκπομπών επιφέρει μεταβολές στα μερίδια της κάθε τεχνολογίας στην κάλυψη της ζήτησης για Η.Ε. Την ίδια στιγμή, η ζήτηση Η.Ε. διαμορφωνόταν σε σχέση τόσο με το αντίκτυπο της πολιτικής στην οικονομία σαν σύνολο (αύξηση των τιμών των καυσίμων), αλλά και σε σχέση με το αντίκτυπο της πολιτικής αυτής στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής. Στο δεύτερο σενάριο είδαμε το πώς η επιδότηση των ΑΠΕ βάζει σε κίνηση δύο διαδικασίες. Από τη μία τη μείωση του αριακού κόστους ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και από την άλλη την αύξηση της τιμής της Η.Ε. λόγω της επιβολής ενός επιπρόσθετου φόρου κατανάλωσης. Είδαμε ότι το αντίκτυπο της επιδότησης ήταν τέτοιο που ακόμα και ο επιπρόσθετος φόρος δεν ήταν ικανός να συγκρατήσει το αντίκτυπο και έτσι η ζήτηση Η.Ε. αυξήθηκε σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να σταθώ λίγο σε ένα ζήτημα της μοντελοποίησης αυτής το οποίο χρίζει ανάλυσης. Καταρχήν, είναι ένα διαδοχικά – δυναμικό υπόδειγμα. Αυτό σημαίνει ότι ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής αποφασίζει την επένδυση για την επόμενη περίοδο κάνοντας ορισμένες υποθέσεις για την εξέλιξη της ζήτησης και των τιμών. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα μπορούσε, σε ένα ακραίο σενάριο, λόγω λανθασμένων προσδοκιών, να βρεθεί ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής με λιγότερη

δυναμικότητα από αυτήν που απαιτείται για να ισορροπήσει το σύστημα. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε σενάρια επιδότησης των ΑΠΕ. Σε τέτοια σενάρια, όσο μερισσότερο επιδοτούνται οι ΑΠΕ, τόσο μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης καλύπτουν την επόμενη περίοδο. Όσο μεγαλύτερο κομμάτι της ζήτησης καλύπτουν, τόσο μειώνεται το οριακό κόστος του κλάδου της Η.Ε., με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ζήτηση όλο και περισσότερο. Εκεί, εάν ο αποφασίζων δεν είχε προβλεψει καλά τη ζήτηση έχοντας μάλιστα ένα εύλογο περιθώριο δυναμικότητας, το υπόδειγμα αντιμετωπίζει προβλήματα σύγκλισης. Αυτά μπορούν να ξεπεραστούν μόνον με την ανάπτυξη ενός διαχρονικού – δυναμικού υποδείγματος Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας. Σε αυτήν την περίπτωση, όταν ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής θα βλέπει πως δεν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση σε κάποιο έτος, θα επενδύει αντίστοιχα. Αν και τα διαχρονικά δυναμικά υποδείγματα μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση τέτοιου τύπου προβλημάτων, βασίζονται σε μια εξαιρετικά απλοποιητική παραδοχή: ότι οι αποφασίζοντες έχουν πλήρη γνώση των τιμών και των ποσοτήτων στο μέλλον. Συνεπώς, το ζήτημα ανάγεται εν τέλει στο τι είναι διατεθειμένος να θυσιάσει ο σχεδιαστής του υποδείγματος ώστε να κατασκευάσει ένα υπόδειγμα το οποίο θα αναπαριστά όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά την οικονομία.

7.2. Προτεινόμενες Επεκτάσεις

Το υπόδειγμα που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική επιδέχεται βελτιώσεις όσον αφορά τη λεπτομέρεια τόσο του μακροοικονομικού υποδείγματος όσο και του υποδείγματος της ηλεκτροπαραγωγής. Οι βελτιώσεις που προτείνονται έχουν να κάνουν από τη μία με τη βελτίωση της λεπτομέρειας του συνολικού υποδείγματος και από την άλλη με την επέκταση του υποδείγματος ώστε εξωγενείς παράμετροι να καθίστανται ενδογενής μεταβλητές.

Σε σχέση με τη βελτίωση του μακροοικονομικού περιβάλλοντος, βασικό ζήτημα είναι η ορθότερη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή. Καταρχήν, ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής απολαμβάνει χρησιμότητα και από την εκμετάλλευση του ελεύθερου χρόνου του, που ορίζεται ως ο χρόνος που δε δουλεύει. Κατά αυτόν τον τρόπο, η προσφορά εργασίας δεν είναι σταθερή, αλλά υπολογίζεται ως εκείνες οι ώρες εργασίας που επιλέγουν οι εργαζόμενοι να εργαστούν, δεδομένης της αμοιβής τους και της χρησιμότητας που θα λάμβαναν εάν δεν εργάζονταν. Δεύτερον, τα νοικοκυριά θα καταναλώναν μια ελάχιστη ποσότητα ακόμα και αν δεν είχαν εισόδημα. Αυτό γίνεται καλλίτερα αντιληπτό με τη χρήση Stone-Geary συνάρτησης χρησιμότητας⁴⁹. Συνεπώς, η επιλογή Cobb – Douglas συνάρτησης ως προς τα καταναλισκόμενα αγαθά για τη μοντελοποίηση της χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή αποτελεί εξαιρετικά απλουστευτική προσέγγιση. Σε

⁴⁹ Όπως συμβαίνει στο υπόδειγμα GEM – E3.

ένα δεύτερο επίπεδο θα μπορούσαν να ενσωματωθούν περισσότερα του ενός νοικοκυριά, τα οποία θα διαφοροποιούνται ως προς την κατανάλωσή τους, αλλά και ως προς την ιδιοκτησία των συντελεστών παραγωγής.

Σε επίπεδο παραγωγής, θα μπορούσε να αυξηθεί η λεπτομέρεια με την εισαγωγή περισσότερων κλάδων παραγωγής οι οποίοι θα διαφοροποιούνται και ως προς τις συναρτήσεις παραγωγής τους είτε επειδή υποκαθιστούν τις εισόδους τους με διαφορετικές ελαστικότητες υποκατάστασης είτε επειδή έχουν διαφορετικό δέντρο παραγωγής. Δεδομένων και των εφαρμογών του υποδείγματος για την εξέταση ενεργειακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, σημαντική είναι η ενσωμάτωση στους κλάδους εξόρυξης υποδείγματος πεπερασμένων ορυκτών πόρων, μιας και στο παρόν υπόδειγμα τα αποθέματα δίνονται εξωγενώς.

Έπειτα, είναι εφικτή η ενσωμάτωση της συμπεριφοράς του κράτους, ώστε η κατανάλωσή του να είναι ενδογενής στο υπόδειγμα. Σε αυτήν την περίπτωση θα έπρεπε να ενσωματώσουμε τις ΚΚΤ συνθήκες και του κράτους, το οποίο θα έλυνε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης δεδομένου του εισοδήματος που λαμβάνει από τους φόρους και μέσω του δανεισμού. Τέλος, ιδιαίτερα περιοριστικές είναι οι υποθέσεις σχετικά με το εξωτερικό εμπόριο, το οποίο πρακτικά θεωρείται εξωγενές. Για την υπέρβαση αυτού του προβλήματος θα πρέπει τον υπόδειγμα αυτό της Ελληνικής αγοράς να συνδεθεί με ένα υπόδειγμα γενικής ισορροπίας του υπόλοιπου κόσμου. Σε αυτήν την περίπτωση οι εισαγωγές της μιας περιοχής θα αποτελούν εξαγωγές της άλλης, ενώ οι καταναλωτές θα αποφασίζουν βλέποντας τις τιμές παραγωγής των κλάδων, όπως διαμορφώνονται στην κάθε οικονομία και όχι όπως δίνονται εξωγενώς στο παρόν υπόδειγμα. Με αυτόν τον τρόπο, οι εισαγωγές, οι εξαγωγές και οι τιμές με τις οποίες εισάγει η κάθε περιοχή καθίστανται ενδογενής.

Στο κομμάτι της ηλεκτροπαραγωγής μπορεί καταρχήν να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων των μονάδων της κάθε τεχνολογίας. Την ύπαρξη, δηλαδή, διαφορετικών εργοστασίων με διαφορετικά χαρακτηριστικά (οριακό κόστος, βαθμό απόδοσης, κ.λπ.) για κάθε τεχνολογία. Ακόμη, ιδιαίτερης σημασίας είναι η ορθή μοντελοποίηση της εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το εξωτερικό επηρέαζε την ηλεκτροπαραγωγή μόνον στο βαθμό που απαιτούσε μια ορισμένη ποσότητα την οποία καλούνταν να παράξει και την ίδια στιγμή παρείχε εισαγωγές ενέργειας σε μια ορισμένη τιμή και άρα μείωνε τη συνολική ζήτηση των καταναλωτών. Κατά τη σύνδεση, όμως, δύο διαφορετικών χωρών, είναι εφικτή η ταυτόχρονη επίλυση του προβλήματος της ηλεκτροπαραγωγής για κάθε χώρα και για κάθε χρονική ζώνη ώστε να καθορίζεται η ποσότητα εισαγωγών και εξαγωγών όχι αθροιστικά, αλλά σε επίπεδο ώρας. Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί εκεί στους τεχνικούς περιορισμούς των διασυνδέσεων καθώς και στη διαφοροποίηση της συμπεριφοράς του διαχειριστή του συστήματος κάθε χώρας. Σαφώς, μια τέτοια επέκταση του υποδείγματος θα το καθιστούσε ακόμα πιο πλήρες για την αξιολόγηση ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών πολιτικών, μιας και θα γίνει δυνατή η αξιολόγηση

πολιτικών οι οποίες θέτουν στόχους (π.χ. ως προς το ύψος των εκπομπών ρύπων) όχι σε επίπεδο χώρας, αλλά σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Βιβλιογραφία

- Armington, P. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *International Monetary and Staff papers*, 16, 159-178.
- Arrow, K. J., & Debreu, G. (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, 22, 265-290.
- Babiker, M., Gurgel, A., Paltsev, S., & Reilly, J. (2008). *A Forward Looking Version of the MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model*. Massachusetts Institute of Technology, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge. Ανάκτηση από http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt161.pdf
- Bohringer, C. (1998). The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling. *Energy Economics*(20), 233-248.
- Bohringer, C., & Rutherford, T. (2005). Integrating Bottom-Up into Top-Down: A Mixed Complementarity Approach. *Discussion Paper*. Mannheim, Germany. Ανάκτηση από <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp0528.pdf>
- Bohringer, C., & Rutherford, T. (2006). Combining Top-Down and Bottom-up in Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach. *Discussion Paper*. Mannheim, Germany. Ανάκτηση από <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp06007.pdf>
- Borges, A. M. (1986). Applied general equilibrium models: an assessment of their usefulness for policy analysis. *OECD journal*, 7, 7-43.
- Bosseti, V., Tavoni, M., De Cian, E., & Sgobbi, A. (2009). The 2008 WITCH Model: New Model Features and Baseline. *Working Paper 85*. (C. Carraro, Επιμ.) Italy: Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Capros, P. (1998). Ανάκτηση από Energy-Economy-Environment Modelling Laboratory: <http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/PRIMES%20Manual/PRIMsd.pdf>
- Capros, P., Caradeloglou, P., & Mentzas, G. (1990). An Empirical Assessment of Macroeconometric and CGE approaches in Policy Modeling. *Journal of Policy Modeling*, 12(3), 557-585.
- Capros, P., Paroussos, L., Fragkos, P., Tsani, S., Boitierb, B., Wagnerd, F., . . . Bolleng, J. (2014). Description of models and scenarios used to assess

- European decarbonisation pathways. *Energy Strategy Reviews*, 2(3-4), σσ. 220-230.
- Center for Global Trade Analysis, Purdue University. (2015, January 1). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 9 Data Base*. (B. Narayanan, A. Aguiar, & R. McDougall, Επιμ.) Ανάκτηση από Global Trade Analysis Project: http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v9/v9_doco.asp
- Chiang, A. C. (1984). *Fundamental Methods of Mathematical Economics* (3η εκδ.). New York: McGraw-Hill.
- Dirkse, S. P., & Ferris, M. C. (1993). *The PATH Solver: A Non-Monotone Stabilization Scheme for Mixed Complementarity Problems*. Center for Parallel Optimization. Ανάκτηση από <http://research.cs.wisc.edu/techreports/1993/TR1179.pdf>
- E3M - Lab. (2012, March). The GEM-E3 Macro-economic model. *Model Manual*. (E.-L. (NTUA), Επιμ.) European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies - EC4MACS.
- European Commission. (2014). *The 2015 Ageing Report*. Directorate-General for Economic and Financial Affairs. European Commission.
- Gabriel, S. A., Conejo, A. J., Fuller, D. J., Hobbs, B. F., & Ruiz, C. (2012). *Complementarity Modeling in Energy Markets*. New York: Springer.
- GAMS Development Corporation. (2015, June 26). *Home: GAMS*. Ανάκτηση από GAMS: <http://www.gams.com/index.htm>
- Ghadimi, H. (2006, May). A Dynamic CGE Analysis of Exhaustible Resources: The Case of an Oil Exporting Developing Country. *RESEARCH PAPER 2006-7*. West Virginia University. Ανάκτηση από <http://www.rri.wvu.edu/cgecourse/ghadimiwp2006-7.pdf>
- Harberger, A. C. (1962). The incidence of the Corporation Income Tax. *Journal of Political Economy*, 70, 215-240.
- Hosoe, N., Gasawa, K., & Hashimoto, H. (2010). *Textbook of Computable General Equilibrium Modelling*. New York: Palgrave MacMillan.
- Hourcade, J. C., Jaccard, M., Bataille, C., & Gherzi, F. (2010, April 7). *Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges*. France.
- Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1994). The energy efficiency gap. What does it mean? *Energy Policy*(22), 804-810.

- King, B. B. (1985). What is a SAM? Στο G. Pyatt, & J. I. Round (Επιμ.), *Social Accounting Matrices* (σσ. 17-51). Washington, D.C.: The World Bank.
- Kumbaroglou, G., & Madlener, R. (2001, November). A Description of the Hybrid Bottom-Up CGE Model SCREEN with an application to the Swiss Climate Policy Analysis. *Working Paper*. Zurich, Switzerland.
- Lau, M. I., Phlke, A., & Rutherford, T. F. (2002). Approximating infinite-horizon models in a complementarity format: A primer in dynamic general equilibrium analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26(4), 577–609.
- Lofgren, H., Harris, R. L., & Robinson, S. (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS*. International Food Policy Institute.
- Loulou, R., Goldstein, G., & Noble, K. (2004, August 23). Ανάκτηση από ENERGY TECHNOLOGY SYSTEMS ANALYSIS PROGRAM: http://www.iea-etsap.org/web/MrklDoc-I_StdMARKAL.pdf
- Mathiesen, L. (1985). Computation of Economic Equilibria by a Sequence of Linear Complementarity Problems. *Mathematical Programming Study*, 23, 144-162.
- Mathiesen, L. (1987). An Algorithm based on a sequence of Linear Complementarity Problems applied to a Walrasian Equilibrium model: An Example. *Mathematical Programming*, 37, 1-18.
- Proenca, S., & Aubyn, M. S. (2013). Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal. *Energy Economics*, 38, 176-185.
- PROVIDE. (2003, September). Social Accounting Matrices and Economic Modelling. *Background Paper Series*. Elsenburg.
- Rausch, S., & Lanz, B. (2011). *General Equilibrium, Electricity Generation Technologies and the Cost of Carbon Abatement*. MIT. Cambridge, Massachusetts: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Rausch, S., & Mowers, M. (2012). *Distributional and Efficiency Impacts of Clean and Renewable Energy Standards for Electricity*. MIT. Cambridge, Massachusetts: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Roson, R. (2006, January). Introducing Imperfect Competition in CGE Models: Technical Aspects and Implications. *Climate Change Policy and Modeling*. France. Ανάκτηση από <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>

- Rutherford, T. (1995). Extensions of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19, 1299-1324.
- Short, W., Sullivan, P., Mai, T., Mowers, M., Uriarte, C., Blair, N., . . . Martinez, A. (2011). *Regional Energy Deployment System (ReEDS)*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory. Ανάκτηση από National Renewable Energy Laboratory.
- Shoven, J. B., & Whalley, J. (1984). Applied General-Equilibrium models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey. *Journal of Economic Literature*, 22, 1007-1051. Ανάκτηση από <http://links.jstor.org/sici?sici=0022-0515%28198409%2922%3A3%3CI007%3AAGMOTA%3E2.0.CO%3B2-Y>
- Tobin, J. (1969). A General Equilibrium Approach To Monetary Theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1, 15-29.
- Varian, H. R. (2006). *Μικροοικονομική: Μια Σύγχρονη Προσέγγιση*. (Β. Ράπανος, Επιμ., Χ. Βαλλιανός, & Σ. Ανδριάννα, Μεταφρ.) Αθήνα: Κριτική.
- Wing, I. S. (2008). The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technology detail in a social accounting framework. *Energy Economics*, 30, 547-573.
- Wing, I. S. (2011). Computable General Equilibrium Models for the Analysis of Economy-Environment Interactions. Στο Α. Batabyal, & Ν. Peter (Επιμ.), *Research Tools in Natural Resource and Environmental Economics* (σσ. 255-305). World Scientific.
- Κάπρος, Π. (2008). *Μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού*. Αθήνα.
- Παρούσος, Λ. Λ. (2009). Ενεργεια Και Κλιματική Αλλαγή: Οικονομική Ανάλυση Στο Πλαίσιο Της Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας. *Διδακτορική Διατριβή*. Αθήνα. Ανάκτηση από Άρτεμις+: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6015/1/PD2009-0048.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- I. Εξαγωγή ΚΚΤ συνθηκών για το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

Ο αντιπροσωπευτικός καλείται να λύσει το εξής πρόβλημα, για να αποφασίσει πώς θα καταναείμει την κατανάλωσή του σε ένα έτος:

$$\begin{aligned} \text{Min } C(pHC) &= \sum_{\forall i} pHC_{pr,t} \cdot HCV_{pr,t} \\ & \text{s. t.} \end{aligned}$$

$$U_t^* = \prod_{\forall i} HCV_{pr,t}^{a_{pr}}$$

Για αυτό το πρόβλημα, θεωρούμε τη συνάρτηση Lagrange:

$$L = \sum_{\forall pr} pHC_{pr,t} \cdot HCV_{pr,t} + \lambda_t \cdot (U_t^* - \prod_{\forall pr} HCV_{pr,t}^{a_{pr}})$$

$$\frac{\partial L}{\partial HCV_{pr,t}} = pHC_{pr,t} - \lambda_t \cdot a_i \cdot HCV_{pr,t}^{a_i-1} \cdot \prod_{\forall pr} HCV_{pr,t}^{a_{pr}} = 0$$

$$\rightarrow = \lambda_t \cdot a_i \cdot \frac{U_t^*}{HCV_{pr,t}}$$

$$\rightarrow HCV_{pr,t} = \lambda_t \cdot a_i \cdot \frac{U_t^*}{pHC_{pr,t}} = \lambda_t \cdot a_i \cdot \frac{HCDTOTV_t^*}{pHC_{pr,t}}$$

**Αριστη ζήτηση
(A.1)**

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_t} = U_t^* - \prod_{\forall i} HCV_{pr,t}^{a_i} = 0$$

$$\rightarrow \prod_{\forall i} HCV_{pr,t}^{a_i} = \prod_{\forall i} \left(\lambda_t \cdot a_i \cdot \frac{HCDTOTV_t^*}{pHC_{pr,t}} \right)^{a_{pr}} = HCDTOTV_t^*$$

$$\rightarrow \lambda_t \cdot HCDTOTV_t^* \cdot \prod_{\forall i} \left(\frac{a_{pr}}{pHC_{pr,t}} \right)^{a_{pr}} = HCDTOTV_t^*$$

$$\rightarrow \lambda_t \cdot \prod_{\forall i} \left(\frac{a_{pr}}{pHC_{pr,t}} \right)^{a_{pr}} = 1$$

$$\rightarrow \lambda_t = \prod_{\forall i} \left(\frac{pHC_{pr,t}}{a_{pr}} \right)^{a_{pr}} \quad \text{Δυική μεταβλητή (A.2)}$$

Αντικαθιστώντας την (A.1.) στην αρχική συνάρτηση κόστους, έχουμε:

$$C(pHC) = \sum_{\forall i} pHC_{pr,t} \cdot \lambda_t \cdot a_i \cdot \frac{HC DTOTV_t^*}{pHC_{pr,t}} = \lambda_t \cdot HC DTOTV_t^* \cdot \sum_{\forall pr} a_{pr}$$

$$\rightarrow C(pHC) = \lambda_t \cdot HC DTOTV_t^*$$

Αντικαθιστώντας την (A.2.) στην παραπάνω σχέση, έχουμε:

$$C(pHC) = HC DTOTV_t^* \cdot \prod_{\forall pr} \left(\frac{pHC_{pr,t}}{a_{pr}} \right)^{a_{pr}} \quad \text{Βέλτιστο Κόστος Παραγωγής (A.3)}$$

Παρατήρηση 1: Εύρεση Οριακού Κόστους Παραγωγής

$$C(\widehat{pHC}) = \frac{\partial C(pHC)}{\partial HC DTOTV_t^*} = \lambda_t = \prod_{\forall pr} \left(\frac{pHC_{pr,t}}{a_{pr}} \right)^{a_{pr}} \quad \text{Οριακό Κόστος Παραγωγής (A.4)}$$

Παρατήρηση 2: Εύρεση Μέσου Κόστους Παραγωγής

$$\frac{C(pHC)}{HC DTOTV_t^*} = \lambda_t = \prod_{\forall pr} \left(\frac{pHC_{pr,t}}{a_{pr}} \right)^{a_{pr}} = C(\widehat{pHC}) \quad \text{Μέσο Κόστος Παραγωγής (A.5)}$$

II. Εξαγωγή ΚΚΤ συνθηκών για το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού παραγωγού

Το πρόβλημα θα γραφεί στη γενική του μορφή. Γίνεται αντιληπτό πως σε κάθε δέσμη, λύνεται ένα αντίστοιχο πρόβλημα βελτιστοποίησης ως προς τους πόρους τους οποίους απαιτεί. Έστω παραγωγός με i εισόδους:

$$\text{Min } C(p) = \sum_{\forall i} p_i \cdot x_i$$

s. t.

$$y^* = \left(\sum_{\forall i} a_i \cdot x_i^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}}$$

Η συνάρτηση Lagrange, είναι:

$$L = \sum_{\forall i} p_i \cdot x_i - \lambda \cdot \left[y^* - \left(\sum_{\forall i} a_i \cdot x_i^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}} \right]$$

Και οι συνθήκες 1^{ης} τάξης, είναι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_i} &= p_i - \lambda \cdot \left(\frac{1}{\rho} \right) \cdot \left(\sum_{\forall i} a_i \cdot x_i^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot (a_i \cdot x_i^{\rho-1}) \\ \rightarrow p_i &= \lambda \cdot \left(\frac{1}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{y^*}{x_i} \right)^{\rho-1} \end{aligned}$$

Θέτουμε $\sigma = \frac{1}{1-\rho}$. Τότε:

$$x_i = \left(\alpha_i \cdot \frac{\lambda}{p_i} \right)^\sigma \cdot y^*$$

**Αριστη ζήτηση
(A.6)**

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = y^* - \left(\sum_{\forall i} a_i \cdot x_i^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}} = 0$$

$$\rightarrow y^* = \left(\sum_{\forall i} a_i \cdot \left(\frac{\alpha_i \cdot \lambda}{p_i} \cdot y^* \right)^{\sigma-1} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

$$\rightarrow \lambda = \sum_{\forall i} (\alpha_i^\sigma \cdot (p_i)^{1-\sigma})^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

**Δυική μεταβλητή
(A.7)**

Αντικαθιστώντας την (A.6) στη συνάρτηση κόστους, έχουμε:

$$C(p) = \sum_{\forall i} p_i \cdot \left(\alpha_i \cdot \frac{\lambda}{p_i} \right)^\sigma \cdot y^*$$

$$\rightarrow C(p) = \lambda \cdot y^* = \sum_{\forall i} (\alpha_i^\sigma \cdot p_i^{1-\sigma})^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot y^*$$

**Βέλτιστο Κόστος
Παραγωγής
(A.8)**

Παρατήρηση 1: Εύρεση Οριακού Κόστους Παραγωγής

$$\widehat{C}(p) = \frac{\partial C(pHC)}{\partial y^*} = \lambda = \sum_{\forall i} (a_i^\sigma \cdot p_i^{1-\sigma})^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad \text{Οριακό Κόστος Παραγωγής (A.9)}$$

Παρατήρηση 2: Εύρεση Μέσου Κόστους Παραγωγής

$$\frac{C(p)}{y^*} = \lambda = \sum_{\forall i} (a_i^\sigma \cdot p_i^{1-\sigma})^{\frac{1}{1-\sigma}} = \widehat{C}(p) \quad \text{Μέσο Κόστος Παραγωγής (A.10)}$$

III. Καλειδοσκόπηση Cobb – Douglas συναρτήσεων

Κατά την καλειδοσκόπηση της συνάρτησης παραγωγής, ακολουθούμε την υπόθεση του Harberger⁵⁰ και θεωρούμε αρχικές τιμές για το διάνυσμα των τιμών: $p_{i,0} = 1$. Από τον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής έχουμε το σύνολο των πληρωμών από και προς κάθε παράγοντα της οικονομίας, για τις οποίες ισχύει, για μία στήλη του j , ότι: $p_i \cdot x_i = SAM_i$, όπου i : οι γραμμές της στήλης. Επομένως:

$$x_{i,0} = \frac{SAM_i}{p_{i,0}} = SAM_i$$

$$y_0 = \sum_{\forall i} x_{i,0} = \sum_{\forall i} SAM_i$$

$$\widehat{C}_0(p) = \frac{C_0(p)}{y_0} = \frac{\sum_{\forall i} p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{y_0} = \frac{\sum_{\forall i} x_{i,0}}{y_0} = 1 = p_{j,0} \quad \text{(A.11)}$$

$$x_{i,0} = \widehat{C}_0(p) \cdot \frac{a_i}{p_{i,0}} \cdot y_0$$

$$\rightarrow a_i = \frac{p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{\widehat{C}_0(p) \cdot y_0} = 1$$

$$C(p) = \prod_{\forall i} \left(\frac{p_i}{a_i}\right)^{a_i} \cdot y \rightarrow \prod_{\forall i} \left(\frac{p_i}{\frac{p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{\widehat{C}_0(p) \cdot y_0}}\right)^{a_i} \cdot y$$

Από εδώ εξάγουμε την καλιμπραρισμένη συνάρτηση οριακού κόστους:

⁵⁰ Στο (Harberger, 1962).

$$\rightarrow C(p) = C_0 \cdot \left(\prod_{\forall i} \left(\frac{p_i}{p_{i,0}} \right)^{a_i} \right) \cdot \frac{y}{y_0} \quad (\text{A.12})$$

Αντίστοιχα, η καλιμπραρισμένη συνάρτηση άριστης ζήτησης, είναι:

$$x_i = \hat{c} \cdot \frac{a_i}{p_i} \cdot y \rightarrow x_i = \hat{c} \cdot \frac{\frac{p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{\widehat{C_0(p)} \cdot y_0}}{p_i} \cdot y$$

$$\rightarrow x_i = x_{i,0} \cdot \left(\frac{\widehat{c(p)}}{\widehat{c_0(p)}} \right) \cdot \left(\frac{p_i}{p_{i,0}} \right)^{-1} \cdot \frac{y}{y_0} \quad (\text{A.13})$$

IV. Καλειδοσκόπηση παραμέτρων CES συναρτήσεων

Κατά την καλειδοσκόπηση της συνάρτησης παραγωγής, ακολουθούμε την υπόθεση του Harberger⁵¹ και θεωρούμε αρχικές τιμές για το διάνυσμα των τιμών: $p_{i,0} = 1$. Ακόμη, θεωρούνται γνωστές οι ελαστικότητες υποκατάστασης σ . Από τον Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής έχουμε το σύνολο των πληρωμών από και προς κάθε παράγοντα της οικονομίας, για τις οποίες ισχύει, για μία στήλη του j , ότι: $p_i \cdot x_i = SAM_i$, όπου i : οι γραμμές της στήλης. Επομένως:

$$x_{i,0} = \frac{SAM_i}{p_{i,0}} = SAM_i$$

$$y_0 = \sum_{\forall i} x_{i,0} = \sum_{\forall i} SAM_i$$

$$\widehat{C_0(p)} = \frac{C_0(p)}{y_0} = \frac{\sum_{\forall i} p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{y_0} = \frac{\sum_{\forall i} x_{i,0}}{y_0} = 1 = p_{j,0} \quad (\text{A.14})$$

$$x_{i,0} = \left(a_i \cdot \frac{\widehat{C_0(p)}}{p_{i,0}} \right)^\sigma \cdot y_0$$

$$\rightarrow \left(\frac{x_{i,0}}{y_0} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = a_i \cdot \frac{\widehat{C_0(p)}}{p_{i,0}}$$

⁵¹ Στο (Harberger, 1962).

$$\rightarrow a_{i,0} = \left(\frac{x_{i,0}}{y_0}\right)^{\frac{1}{\sigma}} \cdot \frac{p_{i,0}}{C_0(p)}$$

$$C(p) = \left[\sum_{\forall i} a_i \cdot p_i^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot y = \left[\sum_{\forall i} \left(\frac{x_{i,0}}{y_0}\right)^{\frac{1}{\sigma}} \cdot \frac{p_{i,0}}{C_0(p)} \cdot p_i^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot y$$

$$\rightarrow C(p) = \frac{\overline{C_0(p)}}{y_0} \cdot \left[\sum_{\forall i} \frac{p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{y_0} \cdot \left(\frac{p_i}{p_{i,0}}\right)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot y$$

Θέτοντας $\theta_i = \frac{p_{i,0} \cdot x_{i,0}}{C(p) \cdot y_0}$, εξάγουμε την καλιμπραρισμένη συνάρτηση οριακού κόστους:

$$C(p) = C_0(p) \cdot \left[\sum_{\forall i} \theta_i \cdot \left(\frac{p_i}{p_{i,0}}\right)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot \frac{y}{y_0} \quad (\text{A.15})$$

Αντίστοιχα, η καλιμπραρισμένη συνάρτηση άριστης ζήτησης, είναι:

$$x_i = \left(a_i \cdot \frac{\overline{C_0(p)}}{p_{i,0}} \right)^{\sigma} \cdot y_0 = \left(\left(\frac{x_{i,0}}{y_0}\right)^{\frac{1}{\sigma}} \cdot \frac{p_{i,0}}{C_0(p)} \cdot \frac{\overline{C_0(p)}}{p_{i,0}} \right)^{\sigma} \cdot y_0$$

$$\rightarrow x_i = x_{i,0} \cdot \left(\frac{\overline{C(p)}}{C_0(p)}\right)^{\sigma} \cdot \left(\frac{p_i}{p_{i,0}}\right)^{-\sigma} \cdot \frac{y}{y_0} \quad (\text{A.16})$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

I. ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

stp	0.05
decl	0.05
stgr	-1.883
a0inv	0.9
a1inv	0.04
sninv	0.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
tge_{ent,t}	1	0.040201	0.090453	0.140705	0.190956
tge_{ele,t}	1	0.163288	0.367398	0.571508	0.775618
tftp_t	1	0.953	0.966	0.974	0.996

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΑΛΛΑΖΟΥΝ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ

ΚΛΑΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	<i>sklem_{pr}</i>	<i>skle_{pr}</i>	<i>skl_{pr}</i>	<i>sene_{pr}</i>	<i>sen_{pr}</i>
01	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
02	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
03	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
04	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
05	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
07	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
08	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
09	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
10	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9
11	0.2	0.25	0.25	0.5	0.9

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

	1	7	8	9	10	11
1	0.5825	0.087251	0.004732	0.074602	0.220536	0.030379
2	0.002004	0.079411	0.030443	0.194268	0.381079	0.312794
3	5.78E-05	0.051593	0.043476	0.154756	0.229763	0.520355
4	0.000442	0.185489	0.011465	0.18915	0.18098	0.432474
5	7.38E-05	0.013549	0.095062	0.179718	0.336972	0.374625
7	0.002702	0.728323	0.000891	0.037018	0.086971	0.144095
8	0.000356	0.107227	0.055085	0.029169	0.6881	0.120063

9	0.01565	0.035438	0.008437	0.515831	0.171028	0.253617
10	0.156541	0.053471	0.001251	0.039887	0.627314	0.121535
11	0.004426	0.057087	0.07485	0.087354	0.183603	0.59268

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΛΟΙΠΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ)

	$\theta_{br,res}$	$\theta_{br,klem}$	$\theta_{br,ma}$	$\theta_{br,kle}$	$\theta_{br,kl}$
1	-	1	0.263034	0.263034	0.816586
2	-	1	0.23151	0.23151	0.826701
3	0.253949888448744	0.746050111551256	0.12819	0.12819	0.696689
4	-	1	0.025804	0.025804	0.046012
5	-	1	0.011165	0.011165	0.26395
7	-	1	0.560876	0.560876	0.542262
8	-	1	0.411787	0.411787	0.977479
9	-	1	0.408993	0.408993	0.280593
10	-	1	0.575944	0.575944	0.837591
11	-	1	0.245232	0.245232	0.98145

	$\theta_{br,ene}$	$\theta_{br,en}$	$\theta_{br,ene1}$	$\theta_{br,cap}$	$\theta_{br,lab}$
1	0.183414	0.848783	0.151217	0.363431	0.636569
2	1.73E-01	0.124281	0.875719	0.483809	0.516191
3	0.303311	0.600437	0.399563	0.788329	0.211671
4	0.953988	0.992658	0.007342	0.649687	0.350313
5	0.73605	0.96035	0.03965	0.56586	0.43414
7	0.457738	0.932537	0.067463	0.420704	0.579296
8	0.022521	0.984846	0.015154	0.705033	0.294967
9	0.719407	0.97715	0.02285	0.862105	0.137895
10	0.162409	0.668026	0.331974	0.512755	0.487245
11	0.01855	0.407419	0.592581	0.523564	0.476436

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΜΕΡΙΔΙΑ ΔΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΕΣΜΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ)

$\theta_{br,e}$	2	3	4	5
1	5.98E-07	1.93E-07	0.999983	1.66E-05
2	0.992596	6.94E-06	0.006958	0.000439
3	3.89E-05	0.079423	0.00402	0.916518
4	4.01E-06	0.557864	0.441651	0.000481
5	0.025372	0.002339	0.097448	0.874841
6	0.322677	4.93E-06	0.386999	0.29032
7	0.000141	5.03E-06	0.884872	0.114983
8	0.000152	4.62E-07	0.999259	0.000589
9	6.74E-06	6.58E-07	0.997777	0.002216
10	0.007977	6.38E-06	0.932384	0.059633
11	8.84E-05	3.48E-06	0.996143	0.003765

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΜΕΡΙΔΙΑ ΑΞΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΣΜΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ)

	$a_{hsh,pr}$
1	0.017661
2	4.20E-06
3	3.95E-09
4	0.146736
5	0.000867
6	0.013338
7	0.029088
8	0.004859
9	0.263332
10	0.232234
11	0.291879

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΩΝ ΑΓΑΘΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ (ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	-0.042626015	-0.042626015	-0.04263	-0.04263	-0.04263
2	-0.010338402	-0.010338402	-0.01034	-0.01034	-0.01034
3	-8.56E-05	-8.56E-05	-8.56E-05	-8.56E-05	-8.56E-05
4	0.712018443	0.712018443	0.712018	0.712018	0.712018
5	0.027186933	0.027186933	0.027187	0.027187	0.027187
6	0.157805561	0.157805561	0.157806	0.157806	0.157806
7	0.094342399	0.094342399	0.094342	0.094342	0.094342
8	0.01629679	0.01629679	0.016297	0.016297	0.016297
9	-0.114740138	-0.114740138	-0.11474	-0.11474	-0.11474
10	0.137414173	0.137414173	0.137414	0.137414	0.137414
11	0.035129562	0.035129562	0.03513	0.03513	0.03513

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΦΟΡΟΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ($txind_{pr,t}$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	0.034482487	0.034482487	0.034482	0.034482	0.034482
2	0.013798741	0.013798741	0.013799	0.013799	0.013799
3	0.009326188	0.009326188	0.009326	0.009326	0.009326
4	0.000807345	0.000807345	0.000807	0.000807	0.000807
5	0.003382301	0.003382301	0.003382	0.003382	0.003382
6	0.005778044	0.005778044	0.005778	0.005778	0.005778
7	0.053838168	0.053838168	0.053838	0.053838	0.053838

8	0.003997897	0.003997897	0.003998	0.003998	0.003998
9	0.128322242	0.128322242	0.128322	0.128322	0.128322
10	0.015966648	0.015966648	0.015967	0.015967	0.015967
11	0.002723871	0.002723871	0.002724	0.002724	0.002724

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΕΠΙΛΟΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ($txsub_{pr,t}$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	0.015891554	0.015891554	0.015892	0.015892	0.015892
4	0.004102262	0.004102262	0.004102	0.004102	0.004102
7	0.002408989	0.002408989	0.002409	0.002409	0.002409
10	0.008262046	0.008262046	0.008262	0.008262	0.008262

ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΔΑΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ($txdut_{pr,t}$) - ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΤΟΣ ΒΑΣΗΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
12	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1.2	1.2	1.05	1.05	1.2	1.2	1.2
16	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $nlpow_{tec, runtime}$

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
12	5000	5500	5000	4000	3000	5000	5000
13	5000	2500	2000	1500	1500	5000	5000
14	5000	1700	2500	3000	5000	5000	5000
15	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
16	5000	5000	5000	4000	4000	5000	5000
17	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
18	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
19	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
20	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
21	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
22	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
23	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $scalef_{tec, runtime}$

ΕΤΟΣ	2015	2020	2025	2030	2035	2040
15	10	10	10	10	10	10
17	41.82228	849.0868	4309.596	1300.761	1275.233	1248.65
18	2.276786	21.53028	2.264032	2.207358	2.222042	2.273266
19	3.37475	9554.057	35442.66	21024.08	0.0308	0.030232

20	15	27047.67	8582.443	0.481615	0.502006	0.492298
21	4.730028	7136.482	17890.54	2951.679	465.9217	633.4187

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $invnl_{tec,vtime}$

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
s1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s11	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ($rm_{dem,t}$)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
$bugrt_{butime,ts}$ (Σενάριο Αναφοράς)	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05
$bugrt_{butime,ts}$ (Σενάριο 1)	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05
$bugrt_{butime,ts}$ (Σενάριο 2)	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05

ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΑΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ Η.Ε.

II. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
ΑΕΠ	208,54	197,10	211,70	224,57	208,54
Επένδυση	34,11	35,14	35,11	35,54	35,18
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	39,13	39,13	39,13	39,13	38,44
Κατανάλωση Οικιακών Καταλωτών	167,94	150,93	165,69	176,72	179,45

Συνολικές Εισαγωγές	88,11	82,56	85,90	87,88	88,14
Συνολικές Εξαγωγές	55,48	54,46	57,66	61,07	55,51

ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Επιτόκιο αμοιβής κεφαλαίου (2011=100)	100,00	112,9 7	109,76	112,4 9	96,13
Μερίδιο των επενδύσεων ως προς το ΑΕΠ	0,16	0,21	0,19	0,18	0,15
Μερίδιο κεφαλαίου στη συνολική προστιθέμενη αξία	0,56	0,58	0,58	0,58	0,54

ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	2424,9 2	2206,27	2357,82	2477,6 1	2645,31
Κατανάλωση Οικιακών Καταναλωτών	753,80	671,59	745,92	802,35	894,00
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	1671,1 2	1534,68	1611,91	1675,2 6	1751,31

ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (Mtn of CO2 eq.)	83,38	85,67	88,17	91,71	83,38		
Carbon Price (€2011/Mtn)		5,00	10,00	14,00	35,00	57,00	78,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	11,91	12,28	12,79	13,47	12,93
2	0,90	0,76	0,54	0,39	0,19
3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
4	18,22	16,58	19,45	22,19	25,85
5	0,01	0,01	0,02	0,05	0,07
6	5,55	5,30	5,72	5,83	5,93
7	8,31	7,79	8,59	9,40	9,88

8	29,11	30,07	30,26	30,65	31,35
9	81,53	74,39	83,70	91,71	103,81
10	67,36	64,35	68,37	72,23	73,81
11	120,38	118,27	121,22	123,88	125,36

ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	10,30	10,48	11,03	11,66	11,39
2	0,91	0,77	0,54	0,39	0,19
3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
4	16,31	14,70	17,28	19,72	22,99
5	0,01	0,01	0,02	0,05	0,07
6	5,31	4,99	5,30	5,34	5,39
7	5,96	5,55	6,19	6,83	7,28
8	28,83	29,80	29,99	30,39	31,10
9	64,16	57,42	65,45	72,16	83,09
10	55,91	53,08	56,76	60,17	62,41
11	113,00	110,45	113,69	116,46	118,60

ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	2,02	2,22	2,21	2,28	1,99
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,93	1,89	2,18	2,49	2,88
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,28	0,34	0,46	0,53	0,57
7	2,80	2,66	2,86	3,08	3,13
8	0,40	0,39	0,39	0,39	0,38
9	27,83	26,52	29,00	31,32	34,04
10	12,52	12,30	12,70	13,22	12,58
11	7,70	8,14	7,86	7,76	7,10

ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	1,72	1,59	1,68	1,73	1,93
2	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
3	9,32	8,57	9,36	10,00	10,82
4	26,59	24,45	24,88	24,86	25,09
5	1,36	1,04	1,26	1,55	1,92
6	0,56	0,43	0,33	0,29	0,27

7	7,64	7,48	7,76	7,95	8,36
8	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19
9	11,11	10,44	10,88	11,10	11,76
10	23,49	22,70	23,51	23,94	26,10
11	6,13	5,67	6,04	6,27	6,97

ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	2424,92	2206,27	2357,82	2477,61	2645,31
Κατανάλωση Οικιακών Καταναλωτών	753,80	671,59	745,92	802,35	894,00
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	1671,12	1534,68	1611,91	1675,26	1751,31

ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Μοναδιαίο Κόστος Η.Ε. (2011=100)	100	110,0784	92,92142	87,40537	72,60451
Μοναδιαίο κόστος Η.Π. (€2011/MWh)	100	103,5011	86,94573	82,32104	69,83186

ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας	50,46	46,64	48,32	48,18	48,42
Ζήτηση Οικιακών Καταναλωτών	16,65	15,94	19,16	21,19	24,01
Εμπορική Ζήτηση	33,81	30,70	29,15	26,99	24,41

ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	49,68	47,43	51,24	52,24	53,07
Εισαγωγές	3,23	2,49	1,94	1,68	1,58
Εξαγωγές	2,45	2,99	4,09	4,74	5,11

ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12	50,26	42,24	27,63	19,44	9,04
13	11,77	9,76	7,79	7,49	6,62
14	18,66	11,90	16,07	22,67	32,16
15	-	-	-	-	-
16	0,00	0,42	0,90	1,05	1,06
17	0,53	0,78	1,06	1,08	1,15
18	13,39	16,34	22,60	22,35	22,50
19	5,09	11,55	16,77	18,07	18,95
20		0,15	0,33	0,88	0,88
21	0,30	6,87	6,84	6,98	7,65

ΠΙΝΑΚΑΣ 36: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12	55458,37	46706,33	32512,19	23070,2	10616,28
13	14984,04	12421,56	10552,02	10236,5	8957,482
14	15967,44	10180,06	14632,92	20832,58	29278,23

ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWH)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035
12	4.781027	0.01	0.263149	0.086567	0.019616	0.015982
13	2.809035	0.449349	0.113341	0.071391	0.07212	0.265522
14	3.415769	2.650437	0.259096	0.2806	0.351439	1.863299
15						
16	0.093641	0.024762	0.105476			
17	0.093267	0.130299	0.072751	0.013889	0.022175	0.020776
18	2.342937	0.177864	0.574137			
19	1.323	0.876264	0.968849	0.193121	0.140348	0.875372
20		0.02	0.038711	0.040151		
21	0.202	2.849266	0.201865	0.083659	0.241592	0.102557

ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Thermal	0.731	0.634	0.602	0.602	0.606
Biomass	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006
Hydro	0.162	0.123	0.133	0.129	0.123
Wind	0.088	0.100	0.126	0.133	0.131
Solar PV	0.013	0.137	0.132	0.130	0.134

ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

III. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
ΑΕΠ	208,54	197,09	207,88	220,16	238,15
Επένδυση	34,1062	35,1972	35,5579	36,2646	37,3498
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	39,13249	39,13249	39,13249	39,13249	39,13249
Κατανάλωση Οικιακών Καταλωτών	167,9408	150,8672	164,7521	176,0087	195,1847
Συνολικές Εισαγωγές	88,11159	82,56192	86,86886	89,31222	94,64318
Συνολικές Εξαγωγές	55,47622	54,45797	55,30788	58,07023	61,1272
ΕΥ	0	-0.07267	-0.98284	-0.73716	0.431041

ΠΙΝΑΚΑΣ 40: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Επιτόκιο αμοιβής κεφαλαίου (2011=100)	100	112,98	96,79	95,24	86,72
Μερίδιο των επενδύσεων ως προς το ΑΕΠ	0,1635	0,2115	0,1785	0,1668	0,1427
Μερίδιο κεφαλαίου στη συνολική προστιθέμενη αξία	0,564	0,583	0,545	0,539	0,520

ΠΙΝΑΚΑΣ 41: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (Mtn of CO ₂ eq.)	93	83,35568	81,27352	84,11871	89,8907		
Carbon Price (€2011/Mtn)		5,00	30,00	40,00	50,00	60,00	100,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 42: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	11,91201	12,27965	11,92189	12,33933	12,37478
2	0,90164	0,763873	0,355723	0,258082	0,13099
3	0,061466	0,058556	0,059361	0,059842	0,061191
4	18,22318	16,57349	18,83758	21,36151	25,4125
5	0,011953	0,009371	0,010029	0,018918	0,038823

6	5,548723	5,295889	5,371419	5,52307	5,812364
7	8,312094	7,788239	8,094013	8,731678	9,507488
8	29,10969	30,08481	30,65239	31,28719	31,97266
9	81,52673	74,37014	82,8425	90,83619	103,7943
10	67,35967	64,36756	65,56618	68,77528	72,24899
11	120,3774	118,2608	119,663	122,1112	124,8035

ΠΙΝΑΚΑΣ 43: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	10,30446	10,48219	10,35199	10,78552	10,96305
2	0,913481	0,77373	0,35998	0,260972	0,132154
3	0,059937	0,05693	0,057849	0,058441	0,059933
4	16,31257	14,69995	16,72157	18,96023	22,60259
5	0,011774	0,009179	0,009856	0,018656	0,038419
6	5,305136	4,990494	5,008267	5,089257	5,304337
7	5,960074	5,546592	5,854954	6,37609	7,041571
8	28,82839	29,81062	30,38735	31,02726	31,72222
9	64,15675	57,39784	65,09096	71,94685	83,44945
10	55,91203	53,09454	54,8151	57,80994	61,42825
11	113,0033	110,4437	112,4328	115,0599	118,2241

ΠΙΝΑΚΑΣ 44: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	2,018307	2,220899	1,981004	1,979303	1,838443
2	0,000601	0,000684	0,000651	0,000671	0,000643
3	0,002102	0,002172	0,002066	0,00196	0,001829
4	1,925325	1,88692	2,131226	2,418526	2,830427
5	0,000219	0,000223	0,000207	0,000327	0,000535
6	0,275648	0,335995	0,394189	0,465725	0,541611
7	2,799528	2,660952	2,674826	2,825685	2,977783
8	0,397678	0,394459	0,387586	0,385007	0,378261
9	27,83168	26,51565	28,38208	30,54565	33,66402
10	12,52315	12,30075	11,79795	12,06345	11,97432
11	7,701986	8,139263	7,556094	7,383924	6,919322

ΠΙΝΑΚΑΣ 45: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	1,721618	1,591555	1,762126	1,837499	2,010851
2	0,030614	0,022769	0,011126	0,007829	0,004137
3	9,320195	8,566507	9,154046	9,747222	10,71202
4	26,58855	24,44774	24,62203	24,60194	25,06009
5	1,364071	1,044432	1,209006	1,450849	1,825839
6	0,556929	0,429802	0,367656	0,316215	0,283401

7	7,640602	7,480831	7,855766	8,098253	8,486669
8	0,167028	0,174129	0,180645	0,185685	0,193229
9	11,11043	10,43329	11,05361	11,35247	11,94773
10	23,48504	22,70482	24,43957	25,20755	26,98466
11	6,126509	5,666053	6,213276	6,506712	7,134563

ΠΙΝΑΚΑΣ 46: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	2424,924	2205,721	2299,343	2412,197	2618,438
Κατανάλωση Οικιακών Καταναλωτών	753,8029	671,3286	735,64	790,1599	889,9098
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	1671,121	1534,393	1563,703	1622,037	1728,528

ΠΙΝΑΚΑΣ 47: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Μοναδιαίο Κόστος Η.Ε. (2011=100)	100	110,078 4	92,92142	87,4053 7	72,6045 1
Μοναδιαίο κόστος Η.Π. (€2011/MWh)	100	103,501 1	86,94573	82,3210 4	69,8318 6

ΠΙΝΑΚΑΣ 48: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας (€2011)					
Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας	50,46	46,63	46,20	46,38	47,85
Ζήτηση Οικιακών Καταναλωτών	16,65	15,93	18,43	20,60	23,87
Εμπορική Ζήτηση	33,81	30,70	27,77	25,77	23,98

ΠΙΝΑΚΑΣ 49: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	49,68	47,42	48,10	49,45	52,04
Εισαγωγές	3,23	2,49	2,13	1,84	1,64
Εξαγωγές	2,45	2,99	3,51	4,15	4,82

ΠΙΝΑΚΑΣ 50: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12	50,25849	42,23798	19,3919	13,62441	6,379123
13	11,7738	9,759113	8,343526	7,552588	6,748645
14	18,6589	11,8962	16,56332	22,30831	30,71955
15	-	-	-	-	-
16	0,001651	0,415153	2,177479	2,13487	2,074322
17	0,533109	0,783239	1,130306	1,132916	1,139145
18	13,39217	16,34087	25,92658	25,41924	24,69832
19	5,085816	11,55321	18,70492	19,73771	19,8499
20	0	0,147829	0,433739	0,716069	0,695761
21	0,296079	6,866415	7,328225	7,373885	7,695241

**ΠΙΝΑΚΑΣ 51: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12				15311,17	7356,892
	55458,37	46694,47	21409,6	4	9
13				9774,071	8963,405
	14984,04	12420,11	10606,22	6	1
14				19408,78	27455,76
	15967,44	10178,82	14154,87	1	5

ΠΙΝΑΚΑΣ 52: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	
12	4.781027	0.01	0.263149	0.086567	0.019616	0.015982
13	2.809035	0.449349	0.113341	0.071391	0.07212	0.265522
14	3.415769	2.650437	0.259096	0.2806	0.351439	1.863299
15						
16	0.093641	0.024762	0.105476			
17	0.093267	0.130299	0.072751	0.013889	0.022175	0.020776
18	2.342937	0.177864	0.574137			
19	1.323	0.876264	0.968849	0.193121	0.140348	0.875372
20		0.02	0.038711	0.040151		
21	0.202	2.849266	0.201865	0.083659	0.241592	0.102557

ΠΙΝΑΚΑΣ 53: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Thermal	0.731	0.634	0.594	0.593	0.591
Biomass	0.006	0.005	0.009	0.009	0.008
Hydro	0.162	0.123	0.136	0.133	0.130

Wind	0.088	0.100	0.130	0.135	0.136
Solar PV	0.013	0.137	0.131	0.130	0.135

ΠΙΝΑΚΑΣ 54: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

IV. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
ΑΕΠ	208,5441	197,0975	211,9647	225,2272	240,7285
Επένδυση	34,10616	35,11511	35,66602	36,20799	37,69035
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	39,13249	39,13249	39,13249	39,13249	39,13249
Κατανάλωση Οικιακών Καταλωτών	167,9408	150,9501	165,2002	176,5128	194,471
Συνολικές Εισαγωγές	88,11159	82,5641	85,77071	87,83775	93,55182
Συνολικές Εξαγωγές	55,47622	54,46391	57,73673	61,21164	62,98646
ΕΥ	0	0.022886	-0.52336	-0.24161	-0.24482

ΠΙΝΑΚΑΣ 55: ΒΑΣΙΚΑ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΔΙΣ ΕΥΡΩ)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Επιτόκιο αμοιβής κεφαλαίου (2011=100)	100	112,9728	111,048	113,8036	96,98714
Μερίδιο των επενδύσεων ως προς το ΑΕΠ	0,163544	0,210971	0,190062	0,180287	0,151359
Μερίδιο κεφαλαίου στη συνολική προστιθέμενη αξία	0,563843	0,583039	0,579395	0,58234	0,546025

ΠΙΝΑΚΑΣ 56: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	2424,924	2206,444	2353,13	2472,59	2642,76
Κατανάλωση Οικιακών Καταναλωτών	753,8029	671,6726	743,9169	802,5121	895,7155
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	1671,121	1534,771	1609,214	1670,078	1747,044

ΠΙΝΑΚΑΣ 57: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΤWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (Mtn of CO2 eq.)	93	83,38275	85,35913	87,14183	90,78741		
Carbon Price (€2011/Mtn)		5,00	10,00	14,00	35,00	57,00	78,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 58: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	11,91201	12,28038	12,81307	13,4745	12,92043
2	0,90164	0,764117	0,528294	0,335481	0,142967
3	0,061466	0,058556	0,059361	0,059842	0,061191
4	18,22318	16,57853	19,41339	22,17251	25,82742
5	0,011953	0,009376	0,02171	0,048958	0,064696
6	5,548723	5,296806	5,926808	6,420925	7,143722
7	8,312094	7,789482	8,603635	9,406676	9,864909
8	29,10969	30,06765	30,61544	31,02953	31,69776
9	81,52673	74,3939	83,47298	91,50003	103,5118
10	67,35967	64,35043	68,48737	72,36031	74,05502
11	120,3774	118,2741	121,1483	123,7718	125,1587

ΠΙΝΑΚΑΣ 59: ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	10,30446	10,48259	11,0372	11,66193	11,38521
2	0,913481	0,773977	0,534867	0,339356	0,144254
3	0,059937	0,05693	0,057889	0,058487	0,059949
4	16,31257	14,70498	17,24932	19,70133	22,97196
5	0,011774	0,009184	0,021351	0,048303	0,064035
6	5,305136	4,991418	5,411743	5,659946	6,03551
7	5,960074	5,547624	6,200634	6,833869	7,279308
8	28,82839	29,79335	30,3485	30,76801	31,44936
9	64,15675	57,42287	65,22868	71,99502	82,8709
10	55,91203	53,07483	56,86434	60,31257	62,72372
11	113,0033	110,4558	113,6193	116,3796	118,4524

ΠΙΝΑΚΑΣ 60: ΕΓΧΩΡΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	2,018307	2,221247	2,217695	2,277198	1,980744
2	0,000601	0,000684	0,000718	0,000754	0,000686
3	0,002102	0,002172	0,002025	0,001913	0,001813

4	1,925325	1,886944	2,179747	2,489086	2,876318
5	0,000219	0,000223	0,000432	0,000821	0,000879
6	0,275648	0,335992	0,549311	0,798079	1,149488
7	2,799528	2,66123	2,866205	3,079245	3,11671
8	0,397678	0,394512	0,389343	0,385577	0,375118
9	27,83168	26,51742	28,95573	31,24649	33,92378
10	12,52315	12,30305	12,71654	13,20309	12,51371
11	7,701986	8,140429	7,858981	7,729385	7,04721

ΠΙΝΑΚΑΣ 61: ΕΞΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
1	2,018307	2,221247	2,217695	2,277198	1,980744
2	0,000601	0,000684	0,000718	0,000754	0,000686
3	0,002102	0,002172	0,002025	0,001913	0,001813
4	1,925325	1,886944	2,179747	2,489086	2,876318
5	0,000219	0,000223	0,000432	0,000821	0,000879
6	0,275648	0,335992	0,549311	0,798079	1,149488
7	2,799528	2,66123	2,866205	3,079245	3,11671
8	0,397678	0,394512	0,389343	0,385577	0,375118
9	27,83168	26,51742	28,95573	31,24649	33,92378
10	12,52315	12,30305	12,71654	13,20309	12,51371
11	7,701986	8,140429	7,858981	7,729385	7,04721

ΠΙΝΑΚΑΣ 62: ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΔΙΣ €2011)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	2424,924	2206,444	2353,13	2472,59	2642,76
Κατανάλωση Οικιακών Καταναλωτών	753,8029	671,6726	743,9169	802,5121	895,7155
Κατανάλωση Δημοσίου Τομέα	1671,121	1534,771	1609,214	1670,078	1747,044

ΠΙΝΑΚΑΣ 63: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Μοναδιαίο Κόστος Η.Ε. (2011=100)	100	110,0808	87,667776	75,953985	56,613818
Μοναδιαίο κόστος Η.Π. (€2011/MWh)	100	103,5036	80,046524	67,4709	48,801749

ΠΙΝΑΚΑΣ 64: ΤΙΜΕΣ ΚΛΑΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Συνολική Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας	50,46	46,64	48,78	49,95	52,39
Ζήτηση Οικιακών Καταναλωτών	16,65	15,94	19,36	22,20	26,52
Εμπορική Ζήτηση	33,81	30,70	29,42	27,75	25,88

ΠΙΝΑΚΑΣ 65: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	49,68	47,43	53,07	57,49	63,97
Εισαγωγές	3,23	2,49	1,65	1,19	0,88
Εξαγωγές	2,45	2,99	4,89	7,10	10,23

ΠΙΝΑΚΑΣ 66: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12	50,25849	42,2446	26,15668	15,09608	5,59535
13	11,7738	9,758908	7,583246	6,540842	5,05751
14	18,6589	11,89602	15,40308	19,5019	25,27854
15					
16	0,001651	0,415081	0,376059	0,349935	0,321616
17	0,533109	0,783103	1,024387	1,006558	1,038008
18	13,39217	16,33804	23,49705	30,33213	35,73671
19	5,085816	11,55121	18,60527	19,01187	18,49963
20		0,147804	0,564408	1,584942	1,456678
21	0,296079	6,865227	6,789822	6,575743	7,015957

ΠΙΝΑΚΑΣ 67: % ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
12	55458,37	46709,87	31893,14	19737,757	7928,292
13	14984,04	12422	10639,94	9840,7743	8254,116
14	15967,44	10180,43	14529,56	19728,514	27741,29
					7

ΠΙΝΑΚΑΣ 68: ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (GWh)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030	2035
------	------	------	------	------	------	------

12	4.781027	0.01	0.19692	0.138422	0.009294	
13	2.809035	0.449349	0.09241	0.080581	0.094625	0.124219
14	3.415769	2.650437	0.211181	0.296328	1.252197	3.011324
15						
16	0.093641	0.024762				
17	0.093267	0.130299	0.071638	0.034824	0.080218	0.063813
18	2.342937	0.177864	0.574137	0.600844	0.606801	0.282049
19	1.323	0.876264	1.215757	0.272703	0.224104	4.97249
20		0.02	0.064297	0.170094		
21	0.202	2.849266	0.272861	0.13251	0.544264	1.322944

ΠΙΝΑΚΑΣ 69: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (GW)

ΕΤΟΣ	2011	2015	2020	2025	2030
Thermal	0.731	0.634	0.586	0.567	0.559
Biomass	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004
Hydro	0.162	0.123	0.136	0.151	0.160
Wind	0.088	0.100	0.140	0.148	0.141
Solar PV	0.013	0.137	0.133	0.130	0.136

ΠΙΝΑΚΑΣ 70: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ