



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

## **Ενσωμάτωση Ηλεκτρικού Μοντέλου στην Οικονομία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ι. Δημητρέλλος

**Επιβλέπων:** Παντελής Κάπρος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017





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

## Ενσωμάτωση Ηλεκτρικού Μοντέλου στην Οικονομία

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ι. Δημητρέλλος

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

Εγκρίθηκε από τη τριμελή εξεταστική επιτροπή τη 17<sup>η</sup> Μαρτίου 2017

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

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

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

Αθήνα, Μάρτιος 2017

.....  
Παναγιώτης, Ι. Δημητρέλλος  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτης Ι. Δημητρέλλος, 2017.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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











## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παντελή Κάπρο, αρχικά για το γεγονός πως μέσω των μαθημάτων τα οποία διδάσκει είχα τη πρώτη μου επαφή με το αντικείμενο της Οικονομικής Επιστήμης, το οποίο και αποτέλεσε το πεδίο εργασίας και αφοσίωσής μου μετέπειτα. Επιπλέον τον ευχαριστώ για τη δυνατότητα που μου έδωσε να βιώσω την απαιτητική αλλά και ταυτόχρονα ελκυστική και εκπαιδευτική εμπειρία της επιστημονικής έρευνας, η οποία θα αποτελεί σημείο αναφοράς μου σε ολόκληρη τη μετέπειτα πορεία μου. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Παναγιώτη Καρκατσούλη για τη συνεχή και καίρια βοήθεια που μου προσέφερε στα ζητήματα της μακροοικονομικής θεωρίας και της μοντελοποίησης, καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου Υποδειγμάτων Ενέργειας – Οικονομίας – Περιβάλλοντος. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους φίλους μου Βασίλη, Χρήστο, Νίκο, Γιάννη και Γιώργο, οι οποίοι είχαν το ταλέντο να μετατρέψουν όλα αυτά τα χρόνια διαβάσματος, εργασιών και εξετάσεων σε μερικά από τα καλύτερα της μέχρι τώρα ζωής μου.

Τέλος, ειδικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Χαράλαμπο Αβραάμ, του οποίου η βοήθεια ήταν ειλικρινά συγκινητική. Δίχως τις συμβουλές, τις παρατηρήσεις και τη καθοδήγησή του, η διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής θα αποτελούσε ένα εξαιρετικά δυσκολότερο έργο.

*Στην οικογένειά μου*



## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος υποδείγματος, το οποίο αφορά την ανάπτυξη και η σύνδεση λεπτομερούς μοντέλου ηλεκτροπαραγωγής σε ένα υπόδειγμα υπολογίσιμης γενικής οικονομικής ισορροπίας. Οι τομείς του υποδείγματος οι οποίοι ήταν ατελείς και συμπληρώθηκαν αφορούν το κομμάτι της επένδυσης της ηλεκτροπαραγωγής, την αποτελεσματική τιμολόγηση του τομέα μεταφοράς και διανομής, καθώς και την αξιολόγηση μακροοικονομικών δεικτών για τη συνολική συνέπεια του υποδείγματος. Η επένδυση του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί αναπόσπαστο και καίριο μέρος της μοντελοποίησης, διότι συνιστά το μοναδικό τρόπο επέκτασης των δυνατοτήτων παραγωγής ισχύος συνεπώς καθίσταται απαραίτητη η λεπτομερής και μακροοικονομικά ορθή μοντελοποίηση των πληρωμών οι οποίες χρειάζονται ώστε να πραγματοποιηθεί η επένδυση. Επιπρόσθετα, ως κοινωνικό μονοπώλιο, ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής μεριμνά ώστε η τιμολόγηση του τομέα μεταφοράς και διανομής να γίνεται με τρόπο τέτοιο, ώστε να μεγιστοποιείται το συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της τιμολόγησης Ramsey με βάση τις υπάρχουσες ζώνες τάσης. Οι τελευταίες τιμολογούνται έτσι ώστε να επιβαρύνονται επιπλέον οι καταναλωτές της περισσότερο ανελαστικής ζώνης, οι οποίοι και θα μπορέσουν δυσκολότερα να υποκαταστήσουν το αγαθό. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με την προσομοίωση συγκεκριμένων σεναρίων βάσει ενός σεναρίου αναφοράς. Η συνεπής αναπαράσταση του προβλήματος πραγματοποιήθηκε με την έκφραση του συνολικού υποδείγματος ως ένα πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP) και τα αποτελέσματα προέκυψαν από την επίλυση του προβλήματος μεικτής συμπληρωματικότητας από το λογισμικό GAMS. 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:** Επένδυση, ΑΠΕ, Τιμολόγηση Ramsey, Υπόδειγμα Μερικής Ισορροπίας, Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ηλεκτροπαραγωγή, Μη Γραμμικός Προγραμματισμός, Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας, Κοινωνικό Πλεόνασμα



# Abstract

The scope of this thesis lies on the expansion of a given and functional model, which is designed for the development and integration of a detailed Bottom-Up model of power supply into a Computable General Equilibrium (CGE) model. The parts of the existing model, that were inconsistent, were the investment sector's accounting, the transfer and distribution sector's pricing and a whole assessment from a macroeconomic angle. The first part was amended by the completion of the macroeconomic closure of the investment sector. The pricing part of the transfer and distribution sector was designed from scratch by the introduction of Ramsey pricing. This way of pricing has been proved to be the most efficient in terms of total surplus of the economy. Ramsey pricing is implemented by setting each markup to have an inverse relation to the demand elasticity. 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:** Investment, Renewable Energy, Ramsey Pricing, Computable General Equilibrium, CGE, MCP, Power Market, Power Supply, Total Surplus



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>ΘΕΩΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	<b>25</b>
2.1.	Εισαγωγή στη βελτιστοποίηση .....	25
2.2.	Ο δυϊσμός στο γραμμικό προγραμματισμό.....	28
2.3.	Προβλήματα Μεικτής Συμπληρωματικότητας – (MCP) .....	29
2.4.	Βασική μέθοδος τύπου Newton .....	31
<b>3</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> .....	<b>34</b>
3.1.	Εισαγωγή – Το πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής.....	34
3.2.	Μορφοποίηση ως Πρόβλημα Μη – Γραμμικού Προγραμματισμού και ως Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας .....	38
<b>4</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ</b> .....	<b>47</b>
4.1.	Υποδείγματα Γενικής Ισορροπίας .....	47
4.1.1.	Σύντομη ανασκόπηση υποδειγμάτων .....	47
4.1.2.	Βασικές αρχές της Υπολογίσιμης Οικονομικής Ισορροπίας .....	48
4.1.3.	Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας περιβαλλοντικής και ενεργειακής ανάλυσης ....	51
4.1.4.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υποδειγμάτων Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας.....	57
4.1.5.	Μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος .....	58
4.2.	Ανάλυση του μακροοικονομικού υποδείγματος.....	61
4.2.1.	Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή .....	61
4.2.2.	Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού παραγωγού κάθε κλάδου .....	65
4.2.3.	Επένδυση.....	71
4.2.4.	Κυβέρνηση .....	72
4.2.5.	Εξωτερικό εμπόριο .....	75
4.2.6.	Εξισώσεις Ισορροπίας.....	77
4.2.7.	Υπολογιστικές μεταβλητές και Κανόνες Μακροοικονομικού Κλεισίματος ...	78
4.2.8.	Επιλογή του numeraire.....	80
<b>5</b>	<b>ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ</b> .....	<b>81</b>
5.1.	Η σημαντικότητα της εισαγωγής λεπτομέρειας στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής.....	81
5.2.	Σύνδεση των δύο υποδειγμάτων .....	82
<b>6</b>	<b>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ</b> .....	<b>92</b>
6.1.	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	92

6.1.1.	Νεοκλασική θεωρία επένδυσης.....	93
6.1.2.	Χαρακτηριστικά στοιχεία της επένδυσης.....	96
6.1.3.	Η σημασία των επενδύσεων στη μακροοικονομική ανάπτυξη.....	96
6.1.4.	Επενδύσεις σε ατελείς αγορές.....	97
6.1.5.	Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων και επενδύσεις.....	98
6.1.6.	Λήψη αποφάσεων για πάγιες επενδύσεις.....	100
6.1.7.	Μέθοδοι λήψης αποφάσεων για τη πραγματοποίηση της επένδυσης.....	100
6.1.8.	Μακροοικονομικές πολιτικές και επενδύσεις.....	101
6.1.9.	Η αρχή του επιταχυντή επενδύσεων.....	101
6.2.	Ανάλυση μηχανισμού.....	102
<b>7</b>	<b>ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ RAMSEY.....</b>	<b>106</b>
7.1.	Εισαγωγή στη διακριτή τιμολόγηση.....	106
7.2.	Υπολογισμός της τιμής Ramsey.....	108
7.3.	Εφαρμογή στην ηλεκτροπαραγωγή.....	112
<b>8</b>	<b>ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....</b>	<b>115</b>
8.1.	Σενάριο Αναφοράς.....	115
8.1.1.	Μακροοικονομικά μεγέθη.....	117
8.1.2.	Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής.....	119
8.2.	Σενάριο 1: Αύξηση της φορολογίας στην εκπομπή αέριων ρύπων.....	122
8.2.1.	Μακροοικονομικά μεγέθη.....	122
8.2.2.	Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής.....	124
8.3.	Σενάριο 2: Επιδότηση ΑΠΕ.....	127
8.3.1.	Μακροοικονομικά μεγέθη.....	128
8.3.2.	Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής.....	130
<b>9</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>134</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>136</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>139</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 .....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 .....	127

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	117
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWH) , ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	118
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> , ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	119
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	120
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ...	121
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	122
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWH) , ΣΕΝΑΡΙΟ 1 .....	123
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> , ΣΕΝΑΡΙΟ 1 .....	124
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ 1 .....	125
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ 1 .....	126
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	128
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWH) , ΣΕΝΑΡΙΟ 2 .....	129
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> , ΣΕΝΑΡΙΟ 2 .....	130
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ 2 .....	131
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ 2 .....	142

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΕΛΕΙΟΥ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ .....	37
ΣΧΗΜΑ 2: ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	82
ΣΧΗΜΑ 3: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....	103
ΣΧΗΜΑ 4: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ .....	110



# 1

## Εισαγωγή

Τα υπολογιζόμενα μοντέλα γενικής ισορροπίας (GGE Models) χρησιμοποιούνται ευρέως προκειμένου να αξιολογηθούν τα ποσοτικά οφέλη και οι επιπτώσεις από την εφαρμογή μιας προτεινόμενης πολιτικής στην οικονομία. Οι παραπάνω πολιτικές έχουν είτε ενεργειακό προσανατολισμό, είτε δημοσιονομικό, είτε αναδιανεμητικό. Σε αντίθεση με τα Κεϋνσιανά μοντέλα, τα υπολογιζόμενα μοντέλα γενικής ισορροπίας είναι θεμελιωμένα στη μικροοικονομική θεωρία, καθώς οι συμπεριφορά κάθε κλάδου του υποδείγματος προκύπτει από την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Παραδείγματος χάριν, οι συναρτήσεις ζήτησης και προσφοράς για κάθε προϊόν δε προκύπτουν ad-hoc αλλά μέσω της μεγιστοποίησης της χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή και της ελαχιστοποίησης του κόστους του αντιπροσωπευτικού παραγωγού αντίστοιχα. Η παραπάνω θεμελίωση έχει ως αποτέλεσμα τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας να είναι σε θέση να αποτυπώσουν τις πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ όλων των αγορών ενός οικονομικού συστήματος και να προσομοιώσουν με συνέπεια τους μηχανισμούς που καθορίζουν τη κατανομή των πόρων, της δραστηριότητας και των εισοδημάτων στο σύνολο της οικονομίας.

Παρ' όλα αυτά, η κλασική θεωρία γενικής ισορροπίας έχει κάποιες αδυναμίες:

- Αγνοεί ένα σημαντικό πρόβλημα των οικονομικών. Το πρόβλημα της πληροφορίας. Συχνά η παραγωγή ενός προϊόντος εξαρτάται από τυχαία γεγονότα. Επιπλέον, στη πραγματικότητα κάθε παραγωγός έχει διαφορετική πληροφόρηση για το πώς τελικά θα κινηθεί η συνολική παραγωγή. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε πληθώρα, κυρίως στατιστικών θεωριών. Μια από τις σημαντικότερες είναι η θεωρία ορθολογιστικών προσδοκιών όπως διατυπώθηκε από τον *John F. Muth* (1961).

- Οι συναρτήσεις παραγωγής είναι κυρτές. Αυτό σημαίνει ότι διπλασιασμός όλων των συντελεστών παραγωγής φέρνει το πολύ διπλάσιο αποτέλεσμα. Αυτό είναι σε σύγκριση με τις οικονομίες κλίμακας που παρατηρούμε στην πραγματική ζωή, όπου ένα μεγάλο εργοστάσιο είναι πιο παραγωγικό από ένα μικρό. Σε περίπτωση όμως που έχουμε κοίλες συναρτήσεις παραγωγής η θέση ισορροπίας δεν είναι μοναδική.

Οι παραπάνω ενστάσεις όμως καταλήγουν αμελητέες σε σύγκριση με τη συνολική προσφορά των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας, τα οποία έχουν το μοναδικό χαρακτηριστικό να ισορροπούν όλες τις αγορές ταυτόχρονα.

Μια κατηγορία υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας αποτελούν τα λεγόμενα «από πάνω προς τα κάτω» ή top-down υποδείγματα. Τα παραπάνω μοντέλα αναπαριστούν απλοποιημένα το σύνολο της οικονομίας και το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι πως μετά την επίλυση το σύνολο των αγορών ισορροπεί ταυτόχρονα. Έχουν τη δυνατότητα να αναπαριστούν πλήρως την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών αγορών και αναπαριστούν αποτελεσματικότερα την μικρο-οικονομική απόκριση των καταναλωτών και των παραγωγών σε αλλαγές, ειδικά σε σχέση με τα μακρο-οικονομικά υποδείγματα. Όμως λόγω της απλοποιημένης αναπαράστασης των τομέων της οικονομίας, αδυνατούν να συλλάβουν τη συμπεριφορά διαφοροποιημένων αγορών, όπως αυτή του ηλεκτρισμού. Η τελευταία χαρακτηρίζεται από κανόνες θερμοδυναμικής καθώς και διαφορετικές δυνατότητες υποκατάστασης μεταξύ των τεχνολογιών, με συνέπεια τα αποτελέσματα ενός υποδείγματος γενικής ισορροπίας να καθίστανται ανεπαρκή για τη μελέτη της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια δεύτερη κατηγορία υποδειγμάτων αποτελούν τα λεγόμενα «υποδείγματα μερικής οικονομικής ισορροπίας» ή partial equilibrium models. Τα συγκεκριμένα μοντέλα αναπαριστούν ένα μέρος της οικονομίας και όχι το σύνολό της, προσθέτοντας λεπτομέρεια στις αγορές που εξετάζουν. Τα παραπάνω υποδείγματα επιλύονται με τη χρήση των τεχνικών του γραμμικού προγραμματισμού ή του μη γραμμικού προγραμματισμού, καθώς δεν επιδιώκουν την ισορροπία του συνόλου της οικονομίας ώστε να χρησιμοποιούν τη τεχνική της μεικτής συμπληρωματικότητας. Αυτά τα υποδείγματα, παρόλο που αναπαριστούν με εξαιρετική λεπτομέρεια την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, δεν έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν τις αλλαγές που επιφέρουν οι μεταβολές σε άλλες αγορές σε αυτή του ηλεκτρισμού και αντίστροφα.

Αν υπήρχε τρόπος να συνδυαστεί το πλεονέκτημα της καθολικότητας ενός υποδείγματος γενικής ισορροπίας και το πλεονέκτημα της λεπτομέρειας και ρεαλιστικότητας ενός μοντέλου μερικής ισορροπίας, τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν θα ήταν ορθά για κάθε τύπου αγορά, ακόμη και των διαφοροποιημένων. Τη παραπάνω ανάγκη καλύπτουν τα λεγόμενα υβριδικά υποδείγματα, τα οποία αποτελούνται από δύο συνδεδεμένα μοντέλα, ένα γενικής ισορροπίας και ένα μερικής ισορροπίας. Ενώ το υπόδειγμα γενικής ισορροπίας επιλύει για το σύνολο της οικονομίας, βασίζεται στα αποτελέσματα του υποδείγματος μερικής ισορροπίας για

την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιστρόφως, το υπόδειγμα μερικής ισορροπίας αντιλαμβάνεται τις μεταβολές των τιμών στην οικονομία μέσω των αποτελεσμάτων του υποδείγματος γενικής ισορροπίας. Τα δύο υποδείγματα επιλύουν επαναληπτικά ανταλλάσσοντας τις εξόδους τους, μέχρις ότου να φτάσουν στο σταθερό σημείο (fixed point) όπου οι περαιτέρω επαναλήψεις δεν έχουν νόημα καθώς η είσοδος στο υπόδειγμα ισούται με την έξοδό του, δηλαδή το υπόδειγμα έχει εντοπίσει το σημείο ισορροπίας. Συμπερασματικά, τα υβριδικά μοντέλα επιτυγχάνουν ταυτόχρονα τη γενική ισορροπία στην οικονομία και την αντίληψη των ιδιαιτεροτήτων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική, δέχεται ως δεδομένο ένα ήδη υπάρχον υβριδικό υπόδειγμα για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (*Χαράλαμπος Χ. Αβραάμ, Σύνδεση Λεπτομερούς Μοντέλου Ηλεκτροπαραγωγής σε ένα Υπόδειγμα Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας, 2015*) και έχει ως κύριους στόχους:

- Βελτίωση της μοντελοποίησης του τομέα επενδύσεων, ώστε να κλείνει μακροοικονομικά ο συνολικός λογαριασμός.
- Εφαρμογή ενός κοινωνικού τρόπου τιμολόγησης (τιμολόγηση Ramsey) στο τομέα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτροπαραγωγής ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό πλεόνασμα.
- Μελέτη μακροοικονομικών δεικτών και αξιολόγηση των αλλαγών σε τρία σενάρια στα οποία η κυβέρνηση εφαρμόζει διαφορετική περιβαλλοντική πολιτική.

Τα κεφάλαια 3 έως 5 είναι αφιερωμένα σε μια περιληπτική αναπαράσταση του ήδη υπάρχοντος υποδείγματος, ενώ τα κεφάλαια 6 έως 9 αφορούν τις νέες προσθήκες στο μοντέλο και την αξιολόγησή τους.

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 μικροοικονομική θεμελίωση του υποδείγματος στα επόμενα κεφάλαια.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το bottom-up μοντέλο του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το «από πάνω προς τα κάτω» υπόδειγμα γενικής ισορροπίας και πως αυτό μοντελοποιεί το σύνολο της οικονομίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δείχνουμε πώς γίνεται η σύνδεση μεταξύ των δύο μοντέλων, της γενικής και της μερικής ισορροπίας. Δηλαδή, ποιές τιμές και ποσότητες ζήτησης τροφοδοτούνται στο κάθε μοντέλο ξεχωριστά..

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδελεχώς οι προσθήκες στο υπόδειγμα για το τομέα των επενδύσεων της ηλεκτροπαραγωγής, ώστε αυτό να είναι συνεπές με το μακροοικονομικό περιβάλλον.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή της τιμολόγησης Ramsey και πως αυτή προστέθηκε στο υπόδειγμα.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αριθμητική εφαρμογή του μοντέλου αρχικά για ένα σενάριο αναφοράς και έπειτα για άλλα δύο. Στο πρώτο αυξάνεται ο φόρος στις εκπομπές ρύπων, ενώ στο δεύτερο εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα επιδότησης ΑΠΕ. Τα χρήματα για την επιδότηση συλλέγονται μέσω της εφαρμογής ενός επιπρόσθετου φόρου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος αξιολογούνται τα αποτελέσματα κάθε σεναρίου στους μακροοικονομικούς δείκτες αλλά και την ηλεκτροπαραγωγή.

Στο ένατο κεφάλαιο σχολιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τα σενάρια, με έμφαση στο κατά αυτά διαστρεβλώνουν ή όχι το σημείο αποτελεσματικής ισορροπίας (*Walrasian Equilibrium*).



# 2

## Θεωρία βελτιστοποίησης

### 2.1. Εισαγωγή στη βελτιστοποίηση

Ο χώρος της βελτιστοποίησης στα εφαρμοσμένα μαθηματικά αναφέρεται στην αναζήτηση βέλτιστων παραμέτρων ενός - συνήθως περίπλοκου - συστήματος. Προβλήματα βελτιστοποίησης απαντώνται σε πολλά επιστημονικά πεδία όπως παραδείγματος χάριν στα οικονομικά, τη φυσική, τη χημεία και άλλα.

Στα μαθηματικά διατυπώνεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης σαν πρόβλημα ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης μιας συνάρτησης μίας μεταβλητής ή πολλών μεταβλητών. Ενώ στην ελαχιστοποίηση (ή μεγιστοποίηση) συναρτήσεων μίας μεταβλητής μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναλυτικές και αλγεβρικές μέθοδοι για τον ακριβή ορισμό ελάχιστων (ή μέγιστων), στη μελέτη συναρτήσεων πολλών μεταβλητών χρησιμοποιούνται κυρίως αριθμητικές μέθοδοι για έναν προσεγγιστικό ορισμό ελάχιστων (ή μέγιστων) σημείων.

Ας υποθέσουμε το παρακάτω πρόβλημα μη-γραμμικού προγραμματισμού:

$$\begin{aligned} & \text{maximize} && f(x), && x \in \mathbb{R}^n \\ & \text{subject to} && g_i(x) \leq 0, && i = 1, \dots, p, \\ & && h_j(x) = 0, && j = 1, \dots, q \end{aligned}$$

Όπου  $x$  είναι η μεταβλητή ως προς την οποία μεγιστοποιούμε,  $f$  η αντικειμενική συνάρτηση και  $g_i, h_j$  οι περιορισμοί.

Έστω μία συνάρτηση  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  με συνεχείς πρώτες μερικές παραγώγους και οι περιορισμοί  $g_i: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $h_j: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  είναι συνεχώς παραγωγίσιμοι στο σημείο  $x^*$ . Αν το  $x^*$  είναι τοπικό μέγιστο και το πρόβλημα μεγιστοποίησης ικανοποιεί συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες αναλύονται παρακάτω, τότε υπάρχουν σταθερές  $\mu_j, \lambda_i$ , που ονομάζονται συντελεστές *Kuhn-Tucker* (ή *Karush-Kuhn-Tucker, KKT*) και συνεπώς ορίζεται η συνάρτηση *Lagrange* ως εξής:

$$\mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = f(x) + \sum_{i=1}^p \lambda_i g_i(x) + \sum_{j=1}^q \mu_j h_j(x)$$

Η λύση αριστοποίησης προκύπτει από τις συνθήκες *KKT*:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = 0, \quad k = 1, \dots, n,$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, p,$$

$$\lambda_i g_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, p,$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, p,$$

$$h_j(x) = 0, \quad j = 1, \dots, q.$$

Για να ανάγουμε το πρόβλημα μεγιστοποίησης στην εύρεση και επίλυση των *KKT* συνθηκών θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω αναγκαίες συνθήκες:

#### *Γραμμική ανεξαρτησία*

Οι παράγωγοι των ενεργών περιορισμών και οι κλίσεις των ισοτικών περιορισμών είναι γραμμικά ανεξάρτητες στο  $x^*$ .

#### *Κριτήριο Mangasarian*

Οι παράγωγοι των ενεργών και ισοτικών περιορισμών είναι θετικοί, γραμμικά ανεξάρτητοι στο  $x^*$ .

### Κριτήριο Σταθερής Τάξης

Για κάθε υποσύνολο των παραγώγων των ενεργών και ισοτικών περιορισμών, η τάξη σε μία περιοχή γύρω από τη βέλτιστη λύση είναι σταθερή.

### Κριτήριο ημικανονικότητας

Εάν οι παράγωγοι των ενεργών και ισοτικών περιορισμών είναι θετικές, γραμμικά ανεξάρτητες στο  $x^*$ , τότε δεν υπάρχει ακολουθία  $x_k \rightarrow x^*$  τέτοια ώστε:

$$\mu_j \neq 0 \rightarrow \mu_j g_j(x_k) > 0 \text{ και } \lambda_i \neq 0 \Rightarrow \lambda_i h_i(x_k) > 0$$

### Συνθήκη Slater

Για ένα κυρτό πρόβλημα, υπάρχει ένα σημείο  $x$  τέτοιο ώστε  $h(x) = 0$  και  $g_i(x) < 0$ .

Ερμηνεία των πολλαπλασιαστών Lagrange:

$$\mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = f(x) + \sum_{i=1}^p \lambda_i g_i(x) + \sum_{j=1}^q \mu_j h_j(x)$$

Υποθέτουμε ότι η ανισότητα  $g_i$  μετακινείται κατά  $\Delta g_i$  ενώ όλοι οι υπόλοιποι περιορισμοί παραμένουν σταθεροί. Τότε

$$\Delta \mathcal{L} = \Delta f + \mu_i \Delta g_i$$

στο ελάχιστο  $x$  ισχύει:  $\Delta \mathcal{L} = 0$ , οπότε συνεπάγεται ότι:

$$\Delta f = -\mu_j \cdot \Delta g_j \Rightarrow \mu_j \cong \frac{\Delta f}{\Delta g_j}$$

Εάν είναι ενεργός ο περιορισμός  $g = 0$  και  $\Delta g < 0$  το  $\Delta f$  θα πρέπει να είναι θετικό αφού σε διαφορετική περίπτωση δε θα είναι βέλτιστο σημείο και θα ισχύει:

$$\frac{\Delta f}{\Delta g_i} < 0 \Rightarrow \mu_i > 0.$$

## 2.2. Ο δυϊσμός στο γραμμικό προγραμματισμό

Σε κάθε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, μπορούμε να αντιστοιχίσουμε ένα άλλο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού το οποίο είναι το δυϊκό του ενώ το αρχικό πρόβλημα ονομάζεται πρωτεύον. Λύνοντας το ένα από τα δύο προβλήματα οδηγεί στη λύση του άλλου, γεγονός το οποίο μας προσφέρει ευελιξία στην επιλογή του προβλήματος που θα επιλέξουμε να λύσουμε.

Αποδεικνύεται ότι κάθε επιτρεπτή λύση του πρωτεύοντος προβλήματος φράσσει την αντικειμενική συνάρτηση του δυϊκού προβλήματος καθώς επίσης και το δυϊκό πρόβλημα του δυϊκού προβλήματος είναι το πρωτεύον πρόβλημα.

*Ορισμός του δυϊκού προβλήματος:*

Έστω το παρακάτω πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Να βρεθούν τα  $x_1, x_2, \dots, x_n$  τα οποία μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση:

$$z_p = c_1x_1 + \dots + c_nx_n = \sum_{i=1}^n c_ix_i = c^T x$$

δεδομένων των περιορισμών

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m$$

Ενώ το δυϊκό πρόβλημα μπορεί να γραφεί ως εξής. Να βρεθούν οι τιμές των δυϊκών μεταβλητών  $y_1, y_2, \dots, y_m$  οι οποίες ελαχιστοποιούν τη δυϊκή αντικειμενική συνάρτηση:

$$f_d = b_1y_1 + \dots + b_my_m = \sum_{i=1}^m b_iy_i = b^T y$$

δεδομένων των περιορισμών:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}y_j \leq c_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Σχέσεις πρωτεύοντος / δυϊκού προβλήματος:

- Αν το πρωτογενές πρόβλημα έχει  $n$  μεταβλητές και  $m$  περιορισμούς, το δυϊκό του έχει  $n$  περιορισμούς και  $m$  μεταβλητές.
- Ισοδυναμία μεταξύ μεγιστοποίησης της πρωτογενούς αντικειμενικής συνάρτησης και ελαχιστοποίησης της δυϊκής αντικειμενικής συνάρτησης.
- Οι συντελεστές της πρωτογενούς αντικειμενικής συνάρτησης γίνονται σταθεροί όροι των δυϊκών περιορισμών και αντιστρόφως.
- Αν απεικονίσουμε το σύστημα σε μορφή πινάκων παρατηρούμε ότι η μήτρα των συντελεστών των πρωτογενών περιορισμών είναι η ανάστροφη της μήτρας των δυϊκών περιορισμών.
- Ενώ στο πρωτογενές πρόβλημα έχουμε ανισοτικούς περιορισμούς τύπου  $\leq$  στο δυϊκό πρόβλημα έχουμε τύπου  $\geq$ .

### 2.3. Προβλήματα μεικτής συμπληρωματικότητας

Ας υποθέσουμε το παρακάτω μοντέλο μη γραμμικής βελτιστοποίησης:

Δοθέντων:  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ ,  $l, u \in \mathbb{R}^n$

Να βρεθεί:  $\max_{x \in \mathbb{R}^n} f(x)$  (1)

s. t.  $g(x) = 0$ ,  $l \leq x \leq u$

Όπου  $f(\cdot)$  η αντικειμενική συνάρτηση, η  $g(\cdot)$  περιγράφει τους περιορισμούς,  $x$  η μεταβλητή ελέγχου,  $l$  και  $u$  τα ελάχιστα και μέγιστα φράγματα αντίστοιχα. Η βασική αναλυτική τεχνική για την εύρεση λύσης στο πρόβλημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης είναι η μέθοδος των πολλαπλασιαστών *Lagrange* καταλήγοντας στη λύση του συστήματος KKT ανισοτικών σχέσεων. Δύναται να λυθεί με χρήση μη γραμμικού προγραμματισμού (NLP). Το μη γραμμικό πρόγραμμα είναι ένα βασικό στοιχείο των οικονομικών μοντέλων ισορροπίας, αφού περιγράφει τα προβλήματα αποφάσεων που αντιμετωπίζουν τα άτομα που απαρτίζουν την οικονομία.

Μια άλλη κλάση μαθηματικών προγραμμάτων είναι το μοντέλο συμπληρωματικότητας. Δύναται να λυθεί ως πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον υπολογισμό ισορροπίας στην αγορά που δεν υπάρχει κάποιο αντιπροσωπευτικό μοντέλο αριστοποίησης. Το MCP δεν έχει κάποια αντικειμενική μεταβλητή και ορίζεται ως:

Δοθέντων:  $F: \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^N$ ,  $l, u \in \mathbb{R}^N$

Να βρεθούν:  $v, w, z \in \mathbb{R}^N$  (2)

s. t.  $F(z) = w - v$ ,  $w \geq 0$ ,  $v \geq 0$ ,  $l \leq z \leq u$

$$w^T(z - l) = v^T(u - z) = 0$$

Όπου  $F(\cdot)$  η αντικειμενική συνάρτηση,  $u$  και  $w$  οι *slack* μεταβλητές και  $z$  η μεταβλητή ελέγχου. Η τάξη του προβλήματος συμπληρωματικότητας είναι μεγάλη και περιλαμβάνει γραμμικά και μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης σαν ειδικές περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις όπου το MCP αντιστοιχεί σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, το MCP αντιπροσωπεύει το σύστημα KKT. Ωστόσο το αντίστροφο δεν ισχύει πάντα. Παρόλο που όλα τα προβλήματα αριστοποίησης μπορούν να εκφραστούν ως προβλήματα συμπληρωματικότητας, δεν μπορούν όλα τα προβλήματα συμπληρωματικότητας να εκφραστούν ως προβλήματα βελτιστοποίησης.

Μια νέα μέθοδος αφορά την παρουσίαση προβλημάτων συμπληρωματικότητας μέσω του εκτενή μαθηματικού προγραμματισμού (EMP). Η ιδέα του EMP βασίζεται στη μετάφραση των προβλημάτων βελτιστοποίησης σε προβλήματα συμπληρωματικότητας. Ένα μοντέλο αριστοποίησης μπορεί να εκφραστεί σαν δύο συνδεδεμένα μεταξύ τους μοντέλα. Αυτά περιλαμβάνουν :

- Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ως συνάρτηση μια μεταβλητής ελέγχου  $x$ , χρησιμοποιώντας πολλαπλασιαστές,  $\lambda$ , και βοηθητικές μεταβλητές,  $y$
- Ένα σύνολο που συνδέεται με βοηθητικούς περιορισμούς που καθορίζουν το  $y$  έμμεσα.

Το συνδιασμένο μοντέλο βελτιστοποίησης μπορεί να γραφτεί σε αυτή τη μορφή :

Δοθέντων:  $f: \mathbb{R}^{n+M+m} \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $g: \mathbb{R}^{n+M+m} \rightarrow \mathbb{R}^m$ ,  $H: \mathbb{R}^{n+M+m} \rightarrow \mathbb{R}^M$

Να βρεθεί:  $\min_{x|y,\lambda} f(x; y, \lambda)$  (3)

s. t.  $g(x; y, \lambda) \geq 0$ ,  $\perp \lambda \geq 0$ ,

όπου το  $y$  λύνει:  $H(x, y, \lambda) = 0$

Σε αυτό το πρόβλημα, η  $H(\cdot)$  περιγράφει τους βοηθητικούς περιορισμούς. Η αντικειμενική συνάρτηση του NLP  $f(\cdot)$  και οι περιορισμοί  $g(\cdot)$  έχουν σαν μεταβλητή το  $x$ , ενώ τις μεταβλητές  $y, \lambda$  τις χειριζόμαστε σαν παραμέτρους. Να παρατηρήσουμε ότι ενώ στο πρόβλημα βελτιστοποίησης η  $y$  θεωρείται παράμετρος, στο EMP τη χειριζόμαστε σαν μεταβλητή.

Στα πλαίσια του EMP θα πρέπει να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα ομαδοποιηθούν οι μεταβλητές και οι εξισώσεις στο υπόδειγμα. Θα πρέπει να οριστούν δηλαδή οι βασικές και οι βοηθητικές μεταβλητές καθώς επίσης και οι βοηθητικοί περιορισμοί. Το πρόβλημα συμπληρωματικότητας που αντιστοιχεί στο (3) έχει τη μορφή :

$$\begin{aligned} \nabla_x f(x; y, \lambda) - \lambda^T \nabla_x g(x; y, \lambda) &= 0 \perp x \text{ ελεύθερη} \\ g(x; y, \lambda) &\geq 0 \perp \lambda \geq 0 \\ H(x; y, \lambda) &= 0 \perp y \text{ ελεύθερη} \end{aligned} \tag{3a}$$

Οι πεπερασμένων διαστάσεων προγραμματιστικές μέθοδοι (NLP, MCP και EMP) αποτελούν επίσης χρήσιμα εργαλεία επεξεργασίας μοντέλων άπειρου-ορίζοντα.

## 2.4. Βασική μέθοδος τύπου Newton

Για να περιγράψουμε μια από τις βασικότερες μεθόδους λύσεις προβλημάτων συμπληρωματικότητας θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε τη συνάρτηση *Fisher-Burmeister*:

$$\begin{aligned} \varphi: \mathbb{R}^2 &\rightarrow \mathbb{R} \\ \varphi(a, b) &:= \sqrt{a^2 + b^2} - a - b, \end{aligned}$$

καθώς και το σετ δεικτών  $I$  :

$$I_l := \{i \in I \mid -\infty < l_i < u_i = +\infty\},$$

$$I_u := \{i \in I \mid -\infty = l_i < u_i < +\infty\},$$

$$I_{lu} := \{i \in I \mid -\infty < l_i < u_i < +\infty\},$$

$$I_f := \{i \in I \mid -\infty = l_i < u_i = +\infty\}$$

με πεπερασμένα κάτω φράγματα μόνο, πεπερασμένα άνω φράγματα μόνο, πεπερασμένα άνω και κάτω φράγματα και μη πεπερασμένα φράγματα στη μεταβλητή  $x_i$ , αντίστοιχα.

Ορίζεται ο τελεστής:

$$\Phi: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$$

όπου,

$$\Phi_i(x) := \begin{cases} \varphi(x_i - l_i, F_i(x)) & \text{if } i \in I_l, \\ -\varphi(u_i - x_i, -F_i(x)) & \text{if } i \in I_u \\ \varphi(x_i - l_i, \varphi(u_i - x_i, -F_i(x))) & \text{if } i \in I_{lu} \\ -F_i(x) & \text{if } i \in I_f \end{cases}$$

Τότε μπορούμε εύκολα να δούμε ότι αν το  $x^*$  λύνει το MCP τότε λύνει και την εξίσωση  $\Phi(x) = 0$  και αντίστροφα.

Για να λύσουμε το Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας λοιπόν, θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο *Newton* στο σύστημα  $\Phi(x) = 0$  καθώς και τη συνάρτηση:

$$\Psi(x) := \frac{1}{2} \cdot \Phi(x)^T \Phi(x)$$

*Παρουσίαση του Αλγορίθμου τύπου-Newton:*

Βήμα 0, Εκκίνηση

Επιλογή του  $x^0 \in \mathbb{R}^n, \rho > 0, \beta \in (0,1), \sigma \in (0, \frac{1}{2}), \rho > 2,$

και θέτουμε  $k := 0$ .

Βήμα 1, Κριτήριο τερματισμού

Αν το  $x^k$  ικανοποιεί το κατάλληλο κριτήριο τερματισμού : STOP

Βήμα 2, Εύρεση κατεύθυνσης υπολογισμού

Εύρεση μιας λύσης  $d^k \in \mathbb{R}^n$  του συστήματος

$$H_k d = -\Phi(x^k)$$



Αν το σύστημα δεν έχει λύση ή αν η συνθήκη

$$\nabla \Psi(x^k)^T d^k \leq -\rho \cdot \|d^k\|^p$$

δεν ικανοποιείται, θέτουμε

$$d^k := -\nabla \Psi(x^k)$$

### Βήμα 3 Εύρεση γραμμής

Υπολογισμός του  $t_k := \max\{\beta^l | l = 0, 1, 2, \dots\}$ , έτσι ώστε

$$\Psi(x^k + t_k d^k) \leq \Psi(x^k) + t_k \nabla \Psi(x^k)^T d^k$$

### Βήμα 4 Ενημέρωση

Θέτουμε  $x^{k+1} := x^k + t_k d^k$ ,  $k \leftarrow k + 1$ , και επιστρέφουμε στο Βήμα 1.

# 3

## *Περιγραφή του μοντέλου Ηλεκτροπαραγωγής*

### **3.1. Εισαγωγή – Το πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής**

Η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει πληθώρα ιδιαιτεροτήτων σχετικά με τις υπόλοιπες αγορές και για αυτό το λόγο τα σύγχρονα μοντέλα Γενικής Ισορροπίας πολλές φορές τη μοντελοποιούν ξεχωριστά και με περισσότερη λεπτομέρεια, ώστε να εξετάζονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα μοναδικά χαρακτηριστικά της.

Αποτελεί αγορά δικτύου καθώς αποτελείται από τεχνικό δίκτυο διανομής και είναι αναγκαία η διαμόρφωση ενός ρυθμιστικού πλαισίου για την διασφάλιση της εύρυθμης παραγωγής και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος στο κοινωνικό σύνολο. Η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος απαιτεί σταθερά δίκτυα διανομής. Επιπλέον υπάρχει μεγάλο κόστος υποδομής του δικτύου ενώ το οριακό κόστος για κάθε επιπλέον καταναλωτή είναι συγκριτικά χαμηλό. Εξετάζοντας το θέμα τεχνικά, καθίσταται φανερό πως είναι αδύνατο να αποθηκευτεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες λόγω υψηλού κόστους. Σε συνδυασμό με την αδυναμία αναπλήρωσης αποθεμάτων εξάγεται το συμπέρασμα πως το απαιτούμενο φορτίο πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή ίσο και να μην υπερβαίνει το φορτίο της παροχής ενέργειας διαφορετικά θα δημιουργηθούν σοβαρά τεχνικά προβλήματα στο δίκτυο όπως πτώση τάσης.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πως για να φτάσει στην εκάστοτε τελική μορφή της θα πρέπει πρώτα να υποβληθεί σε μετασχηματισμό. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από διαφοροποιημένες τεχνικές υποδομές παραγωγής και μετασχηματισμού και με ποικίλες πρώτες ύλες, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την Οριακή Τιμή Συστήματος. Η τιμή αυτή εκκαθαρίζει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και αποφασίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος. Στο σημείο αυτό ανακύπτει το ερώτημα: *«με ποιον τρόπο ο διαχειριστής του συστήματος θα αποφασίσει το ύψος της Οριακής Τιμής Συστήματος;»*

Το παραπάνω ερώτημα έγκειται σε μια ακόμη ιδιαιτερότητα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι μονοπωλιακή, καθώς η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού ελέγχει τη συντριπτική πλειοψηφία των μονάδων παραγωγής. Το παραπάνω συνεπάγεται πως έχει και το κύριο λόγο στη διαμόρφωση της Οριακής Τιμής του Συστήματος, δηλαδή αποτελεί τον διαχειριστή. Για το καθορισμό της τιμής, θα πρέπει να λάβει υπ'όψιν τα παρακάτω:

- Υπάρχει κίνδυνος εισόδου ανταγωνιστών στην αγορά, σε περίπτωση αδικαιολογήτως υψηλής τιμολόγησης, καθώς δημιουργούνται περιθώρια κέρδους.
- Η επιχείρηση έχει δημόσιο χαρακτήρα, οπότε οφείλει να προσβλέπει στη μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος και όχι στη μεγιστοποίηση των κερδών της.
- Οι μονάδες παραγωγής πρέπει να χρησιμοποιούνται με τον αποδοτικότερο τρόπο.

Αποδεικνύεται πως για να μεγιστοποιηθεί το κοινωνικό όφελος, θα πρέπει η εταιρία ηλεκτρισμού να ελαχιστοποιήσει το συνολικό της κόστος, δεδομένου ότι θα καλύπτει το σύνολο της ζήτησης, τιμολογώντας με στόχο μηδενικό κέρδος (ακόμα και ζημία). Συνεπώς ο διαχειριστής έχει να αντιμετωπίσει ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους με τους παραπάνω περιορισμούς.

Η υπόθεση ισοδυναμίας μεταξύ της μεγιστοποίησης του Κοινωνικού Πλεονάσματος και της αγοράς τέλει ανταγωνισμού είναι εύλογη, καθώς και η μεγιστοποίηση της Κοινωνικής Χρησιμότητας εξασφαλίζεται από την ύπαρξη τέλει ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών. Από το πρώτο Θεώρημα Κοινωνικής Ευημερίας, στο τέλει ανταγωνισμό το Κοινωνικό Πλεόνασμα μεγιστοποιείται. Συνεπώς λύνοντας το πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους κάθε παραγωγού θα λυθεί ταυτόχρονα και το πρόβλημα αριστοποίησης της Κοινωνικής Χρησιμότητας.

Οι διαφορετικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στο υπόδειγμα διαφοροποιούνται ως προς το κόστος παραγωγής τους, λόγω διαφορετικού καυσίμου, και ως προς το έτος δημιουργίας τους. Οι διαφορετικές τεχνολογίες του μοντέλου δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ</b>
<b>12</b>	Λιγνιτικές Μονάδες ( <i>Coal - fired</i> )
<b>13</b>	Μονάδες Πετρελαίου ( <i>Oil - fired</i> )
<b>14</b>	Μονάδες Φυσικού Αερίου ( <i>Gas - fired</i> )
<b>15</b>	Πυρηνικές Μονάδες ( <i>Nuclear</i> )
<b>16</b>	Μονάδες Βιομάζας( <i>Biomass - fired</i> )
<b>17</b>	Μικρές Υδροηλεκτρικές Μονάδες ( <i>Small Hydro</i> )
<b>18</b>	Μεγάλες Υδροηλεκτρικές Μονάδες ( <i>Large Hydro</i> )
<b>19</b>	Αιολικές Μονάδες επί ξηράς ( <i>Wind Onshore</i> )
<b>20</b>	Υπεράκτιες Αιολικές Μονάδες ( <i>Wind Offshore</i> )
<b>21</b>	Φωτοβολταϊκές Μονάδες ( <i>Solar Photovoltaic</i> )
<b>20</b>	Υπεράκτιες Αιολικές Μονάδες ( <i>Wind Offshore</i> )
<b>21</b>	Φωτοβολταϊκές Μονάδες ( <i>Solar Photovoltaic</i> )
<b>22</b>	Λιγνιτικές Μονάδες με τεχνολογία Σύλληψης & Αποθήκευσης Άνθρακα ( <i>Coal – fired with CCS</i> )
<b>23</b>	Μονάδες Φυσικού Αερίου με τεχνολογία Σύλληψης & Αποθήκευσης Άνθρακα ( <i>Gas – fired with CCS</i> )

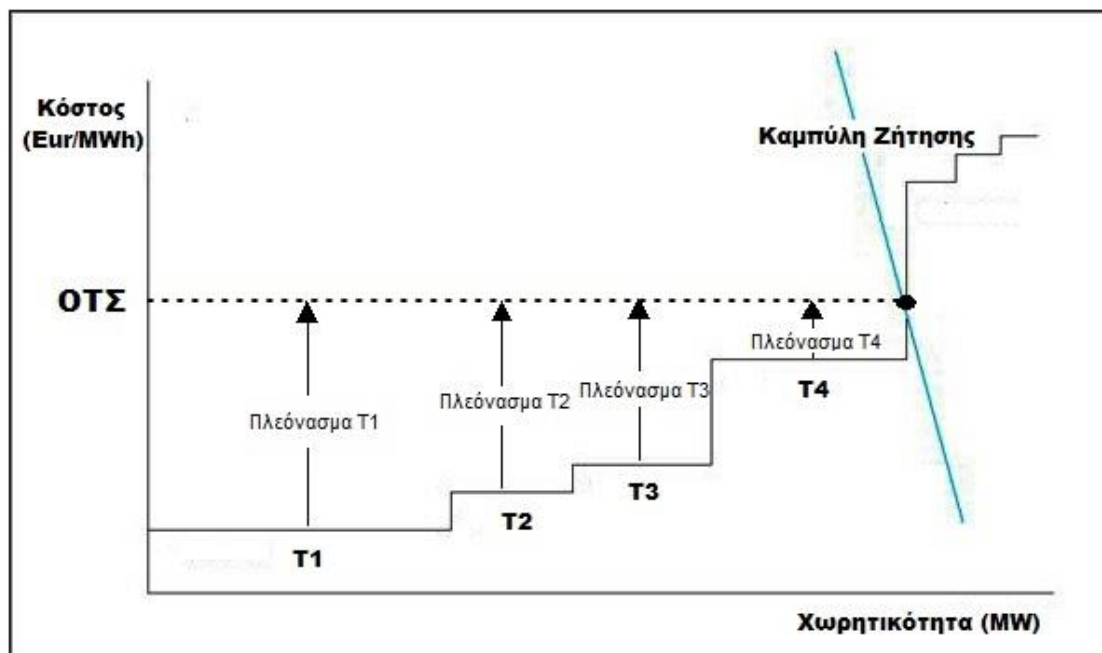
**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Η διαδικασία επιλογής των μονάδων είναι η ακόλουθη:

1. Έλεγχος για το αν έχει καλυφθεί η συνολική ζήτηση.
2. Αν έχει καλυφθεί το πρόβλημα λύθηκε. Αν όχι, τότε γίνεται αναζήτηση του φθηνότερου τρόπου εύρεσης ενέργειας. Συγκρίνεται η μονάδα με το ελάχιστο οριακό κόστος που είναι διαθέσιμη, με τη τιμή εισαγωγών και επιλέγεται το φθηνότερο μέχρις ότου να καλυφθεί η ζήτηση ή το κόστος να ξεπεράσει το κόστος του επόμενου φθηνότερου τρόπου εύρεσης ενέργειας.
3. Πήγαινε στο βήμα 1.

Με άλλα λόγια, ταξινομούνται οι μονάδες παραγωγής σε αύξουσα σειρά οριακού κόστους και επιλέγεται κάθε στιγμή η φθηνότερη έως ότου καλυφθεί η συνολική ζήτηση (συνήθως η εισαγωγή ενέργειας επιστρατεύεται ως τελευταία λύση καθώς είναι ακριβότερη από την εγχώρια παραγωγή).

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των τεχνολογιών φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



ΣΧΗΜΑ 1: ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΕΛΕΙΟΥ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ

Στο παραπάνω σχήμα οι τεχνολογίες εμφανίζονται να έχουν σταθερό οριακό κόστος χάρην απλούστευσης.

Η ΟΤΣ καθορίζεται από το οριακό κόστος της ακριβότερης τεχνολογίας η οποία παράγει. Έτσι, οι τεχνολογίες οι οποίες εξαντλούν τη δυναμικότητά τους λαμβάνουν ένα πλεόνασμα - έσοδο (*rent*) που είναι ίσο με τη διαφορά του οριακού τους κόστους και της Οριακής Τιμής Συστήματος. Όσες αγορές έχουν οριακό κόστος μεγαλύτερο από την ΟΤΣ δεν παράγουν καθώς θα οδηγηθούν σε ζημία. Να σημειωθεί πως ένας παραγωγός μπορεί να λειτουργεί, έστω προσωρινά, με ζημία αρκεί η τιμή να είναι τουλάχιστον τόσο υψηλή όσο και το οριακό κόστος του. Η ζημία μπορεί να οφείλεται στα σταθερά κόστη ή στις πληρωμές κεφαλαίου. Σε καμία περίπτωση όμως ο παραγωγός δε παράγει σε τιμή χαμηλότερη από το οριακό κόστος της μονάδας του.

Επιπλέον, να σημειωθεί πως το οριακό κόστος των μονάδων παραγωγής στο υπόδειγμα δεν είναι γραμμικό, καθώς στη πραγματικότητα είναι αύξον ως προς το μέγεθος της παραγωγής.

- Ο συντελεστής απόδοσης των γεννητριών μειώνεται καθώς η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται, συνεπώς απαιτεί μεγαλύτερο όγκο καυσίμου. Το τελευταίο

οδηγεί σε αύξηση του οριακού κόστους, καθώς το κόστος καυσίμου αποτελεί το κύριο παράγοντα διαμόρφωσής του.

- Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), το κόστος ανά MW αυξάνεται ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα ισχύος μιας και η δυνατότητα εισαγωγής ΑΠΕ είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να τοποθετούνται σε περιοχές που πληρούν ορισμένες προδιαγραφές ως προς την ταχύτητα και την ποιότητα του ανέμου. Οι περιοχές στις οποίες οι συνθήκες είναι ευνοϊκότερες θα αξιοποιηθούν πρώτες από τους επενδυτές, καθώς αποφέρουν υψηλότερη πρόσοδο. Έπειτα θα επιλέγονται με φθίνουσα σειρά οι λιγότερο συμφέρουσες, δηλαδή οι πιο δυσπρόσιτες ή εκείνες με λιγότερη ένταση ανέμου, μέχρις ότου η επένδυση στα αιολικά να γίνει ασύμφορη, επειδή θα υπάρχουν τεχνολογίες με χαμηλότερο οριακό κόστος.

Επιπλέον, το υπόδειγμα δίνει στο διαχειριστή τη δυνατότητα επενδύσεων, ώστε να αυξήσει τη χωρητικότητα του συστήματος. Η παραπάνω αύξηση απαιτείται καθώς μακροπρόθεσμα η ζήτηση αυξάνεται αλλά και παρατηρείται απόσβεση (depreciation) του ήδη υπάρχοντος κεφαλαίου, φαινόμενο το οποίο αχρηστεύει τις μονάδες στο τέλος της ζωής τους. Η ζήτηση δύναται να αυξάνεται είτε λόγω αύξησης του πληθυσμού της χώρας, είτε λόγω τεχνολογικής προόδου (πιο ενεργειακά απαιτητικός εξοπλισμός), είτε λόγω της αλλαγής των συνηθειών των καταναλωτών. Για να ληφθεί η απόφαση για επένδυση, ο διαχειριστής υπολογίζει το οριακό κόστος της μονάδας που θα κατασκευαστεί, αλλά και το ετησιοποιημένο κόστος κεφαλαίου που θα αναγκάζεται να πληρώνει, ώστε να αποπληρώσει τη κατασκευή της μονάδας. Εν τέλει θα επιλέξει εκείνη τη μονάδα που «στο τέλος της ημέρας» θα του κοστίζει το ελάχιστο ανά MW.

### **3.2. Μορφοποίηση ως Πρόβλημα Μη – Γραμμικού Προγραμματισμού και ως Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας**

Όπως προαναφέρθηκε, κάτω από ορισμένες συνθήκες, το πρόβλημα της βελτιστοποίησης του Κοινωνικού Πλεονάσματος, είναι ισοδύναμο με ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους του παραγωγού, δεδομένου ότι θα ικανοποιηθεί η ζήτηση:

*Min OC*

*s. t.*

$$\begin{aligned}
 OC = & \sum_{tec,vtime,dem,runtime} \left( \frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \quad (3.1.) \\
 & \cdot NLFUELC_{tec,vtime,dem,runtime} \\
 & + \sum_{tec,vtime,dem,runtime} \left( \frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \\
 & \cdot vomc_{tec,vtime,dem,runtime} \\
 & + \sum_{tec,vtime} \sum_{runtime \geq vtime} \left( \frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \cdot (FC_{tec,vtime} \\
 & - invnl_{tec,vtime} \cdot \log(1 - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}^{runtime-ts}})) \\
 & + \sum_{tec,vtime} \sum_{runtime \geq vtime} \left( \frac{1}{1+\delta} \right)^{runtime-ts} \cdot pot_{tec,vtime} \\
 & \cdot invnl_{tec,vtime} \cdot \left( \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}} + \log(1 \right. \\
 & \left. - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}}) \right)
 \end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Το συνολικό κόστος ισούται με το μεταβλητό κόστος, το οποίο εκφράζει το κόστος καυσίμων, συν τα σταθερά κόστη που εκφράζουν το κόστος συντήρησης, το κόστος εκκίνησης κλπ.

$$\begin{aligned}
 FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} \quad (3.2.) \\
 = & \text{heatrate}_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
 & \cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime}
 \end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Η ποσότητα καυσίμων (ενέργεια) που απαιτείται είναι ίση με την ενέργεια που σκοπεύει να παράγει ο παραγωγός επί το συντελεστή απόδοσης το καυσίμου.

$$\begin{aligned}
 NLFUELC_{tec,vtime,dem,runtime} \quad (3.3.) \\
 = & \text{scale}f_{tec,runtime} \\
 & \cdot (\text{pf}f_{tec,runtime} + \text{emf}CO2_{tec} \cdot \text{txcarb}_{tec,runtime}) \\
 & \cdot \left( \frac{FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}}{\text{scale}f_{tec,runtime}} \right)^{nlpow_{tec,runtime}}
 \end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Το οριακό κόστος του καυσίμου ισούται με τη ποσότητα του καυσίμου επί τη τιμή καυσίμου συν τους φορολογικούς συντελεστές, αν υπάρχουν (φόρος στις εκπομπές CO<sub>2</sub>).

$$\begin{aligned}
FC_{tec, runtime} &= 5 \cdot (scalepinv \cdot scalep) & (3.4.) \\
&\cdot \left[ \frac{(pINVT_{tec, runtime} + \overline{IPI}_{runtime} \cdot subren_{tec, runtime})}{((1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)} \right] \\
&/ \left[ \frac{discr_{tec} \cdot (1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}}}{discr_{tec} \cdot (1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right]
\end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Τα σταθερά κόστη είναι ίσα με το ετήσιο κόστος αποπληρωμής του κεφαλαίου, το οποίο έχει εκφράζεται μέσω ράντας κατά το σύνολο της διάρκειας ζωής της μονάδας.

$$\begin{aligned}
POWDM_{dem, butime} & & (3.5.) \\
&= \sum_{pr} loadprof_{pr, runtime} \cdot dem1_{pr} \\
&\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime-1} \\
&+ loadprof_{hsh, runtime} \cdot dem_{hsh} \\
&\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime-1} \\
&+ loadprof_{gov, runtime} \cdot dem1_{gov} \\
&\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime-1} \\
&+ loadprof_{inv, runtime} \cdot dem1_{inv} \\
&\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime-1} \\
&+ loadprof_{ex, runtime} \cdot dem_{ex} \\
&\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime-1}
\end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Η συνολική ζήτηση ισχύος ισούται με το άθροισμα της ζήτησης των τομέων της οικονομίας, των νοικοκυριών, της κυβέρνησης, του τομέα επενδύσεων και της ποσότητας εξαγωγών.

$$\begin{aligned}
\sum_{tec, vtime} GEN_{tec, vtime, dem, runtime} &\geq POWDM_{dem, runtime} & (3.6.) \\
&\perp pDM_{dem, runtime}
\end{aligned}$$

*Ερμηνεία:* Η συνολική ζήτηση ισχύος σε κάθε ζώνη ζήτησης πρέπει να καλύπτεται από τις ήδη υπάρχουσες μονάδες.



$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (3.7.)$$

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

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

*Ερμηνεία:* Εξασφαλίζεται ένα επιπλέον κέρδος για το σύνολο των μονάδων παραγωγής, το οποίο αποτελεί κίνητρο για επένδυση, ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί δυναμικότητα τέτοια που να καλύπτει και την πιο ακραία περίπτωση ζήτησης (peak).

$$energymax_{hydro,runtime} \quad (3.8.)$$

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

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

*Ερμηνεία:* Τα υδροηλεκτρικά έχουν πεπερασμένες δυνατότητες παραγωγής ενέργειας, λόγω των φυσικών περιορισμών (ρεύμα ποταμών κλπ) συνεπώς υπάρχει ένα μέγιστο επίπεδο ενέργειας που μπορούν να παράγουν.

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (3.9.)$$

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

*Ερμηνεία:* Το σύνολο ισχύος που έχει στη διάθεσή του ο διαχειριστής, πρέπει να ξεπερνάει το επίπεδο που θέλει να παράγει.

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:

$\delta$ : 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  $runtime$

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

$scalopin$ : 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  $runtime$

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

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

*Σημείωση:* Το υπόδειγμα λύνει με βήμα πενταετίας.

Η μετάβαση από πρόβλημα μη-γραμμικού προγραμματισμού (NLP) σε πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας (MCP) πραγματοποιείται με τη διαδικασία που αναφέρεται στο (κεφ.2) και το αποτέλεσμα είναι το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

Συνάρτηση οριακού κόστους καυσίμου:

$$\begin{aligned} mpF_{tec,vtime,dem,runtime} & \quad (3.10) \\ & = \left( \frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime-ts} \\ & \cdot (pff_{tec,runtime} + emfCO2_{tec} \cdot txcarb_{tec,runtime}) \\ & \cdot heatrate_{tec,vtime} \\ & \cdot \left( \frac{FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}}{scalef_{tec,runtime}} \right)^{nlpow_{tec,runtime}} \\ & \perp mpF_{tec,vtime,dem,runtime} \end{aligned}$$

Συνάρτηση ετησιοποιημένης πληρωμής του κόστους κατασκευής (κόστος κεφαλαίου) μιας μονάδας, ανοιγμένη σε ράντα:

$$\begin{aligned} mpFC_{tec,runtime} & \quad (3.11) \\ & = 5 \cdot (scalepinv \cdot scalep) \\ & \cdot \frac{[(\overline{pINVT}_{tec,runtime} + \overline{IPI}_{runtime} \cdot subren_{tec,runtime})]}{\left[ \frac{((1 + discrt_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)}{discrt_{tec} \cdot (1 + discrt_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right]} \\ & \perp mpFC_{tec,runtime} \end{aligned}$$

Ποσότητα απαιτούμενου καυσίμου:

$$\begin{aligned}
 FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} & & (3.12) \\
 &= heatrate_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
 &\cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \perp FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 mpFC_{tec,vtime,dem,runtime} + \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot vomc_{tec,runtime} & & (3.13) \\
 + pKT_{tec,vtime,dem,runtime} + pHE_{tec \in hydro,runtime} & \\
 \geq pDM_{dem,runtime} \perp GEN_{tec,vtime,dem,runtime} &
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \sum_{runtime \geq vtime} \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^{runtime-ts} \cdot (mpFC_{tec,runtime} - invnl_{tec,vtime} & & (3.14) \\
 \cdot \log(1 - \frac{KAVCT_{tec,vtime}}{pot_{tec,vtime}})) & \\
 \geq \sum_{runtime \geq vtime,dem} pKT_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} & \\
 \cdot util_{tec,dem,vtime} & \\
 + \sum_{runtime \geq vtime,dem} pHE_{tec \in hydro,vtime,dem,runtime} & \\
 \cdot dur_{dem} \cdot util_{tec \in hydro,dem,vtime} &
 \end{aligned}$$

Συνάρτηση υπολογισμού της ζήτησης ενέργειας σε κάθε χρονική ζώνη:

$$\begin{aligned}
 POWDM_{dem,butime} & & (3.15) \\
 = \sum_{pr} loadprof_{pr,runtime} \cdot dem1_{pr} & \\
 \cdot (1 + bugrt_{butime,ts})^{butime-1} & \\
 + loadprof_{hsh,runtime} \cdot dem_{hsh} & \\
 \cdot (1 + bugrt_{butime,ts})^{butime-1} & \\
 + loadprof_{gov,runtime} \cdot dem1_{gov} & \\
 \cdot (1 + bugrt_{butime,ts})^{butime-1} & \\
 + loadprof_{inv,runtime} \cdot dem1_{inv} & \\
 \cdot (1 + bugrt_{butime,ts})^{butime-1} & \\
 + loadprof_{ex,runtime} \cdot dem_{ex} & \\
 \cdot (1 + bugrt_{butime,ts})^{butime-1} \perp POWDM_{dem,butime} &
 \end{aligned}$$

Περιορισμός εκκαθάρισης της ζήτησης ενέργειας:

$$\sum_{tec,vtime} GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \geq POWDM_{tec,runtime} \quad (3.16)$$

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

Περιορισμός καθορισμού του περιθωρίου αποθέματος δυναμικότητας που απαιτείται:

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (3.17)$$

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

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

Περιορισμός δυναμικότητας για τους ηλεκτροπαραγωγούς:

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (3.18)$$

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

Περιορισμός διαθεσιμότητας των υδάτων για τις υδροηλεκτρικές μονάδες:

$$energy_{max,hydro,runtime} \quad (3.19)$$

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

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

Το σύστημα των εξισώσεων (3.10) – (3.19) ορίζει το προς επίλυση πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί πώς ορίζεται το υπόδειγμα γενικής ισορροπίας, το οποίο περιγράφει το σύνολο της οικονομίας και έπειτα πώς τα δύο υποδείγματα μπορούν να ενωθούν ώστε να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

# 4

## *Περιγραφή του μοντέλου Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας*

### **4.1 Υποδείγματα Γενικής Ισορροπίας**

#### **4.1.1 Σύντομη ανασκόπηση υποδειγμάτων**

Η έννοια της γενικής ισορροπίας δεν τυποποιήθηκε από μαθηματική άποψη μέχρι τη δημοσίευση του «Elements d'economie politique pure» του Leon Walras το 1874. Οι Jevons, Menger και ιδιαίτερα ο Walras πρότειναν ότι οι ενέργειες των οικονομικών φορέων συντονίζονται από το σύστημα τιμών. Ειδικότερα, τόνισαν ότι όλοι οι φορείς αντιμετωπίζουν το ίδιο σύνολο τιμών που τους παρέχει κοινή ροή πληροφοριών που απαιτείται για να συντονίσει το σύστημα. Αυτό το σύνολο τιμών θα μεταβαλλόταν έως ότου η προσφορά και η ζήτηση ήταν ίσες ενώ δεν θα υπήρχε καμία μετακίνηση τιμών μόλις επιτυγχανόταν μία τέτοια κατάσταση.

Η σύγχρονη εποχή στη θεωρία γενικής ισορροπίας αρχίζει στη Βιέννη στη δεκαετία του '30. Εκεί ο Karl Menger προήδρευσε του σεμιναρίου μαθηματικών όπου μεταξύ άλλων συμμετείχαν ο Wald, μαθηματικός, και ο Schlesinger, τραπεζίτης. Ο Schlesinger εισήγαγε τον Wald στο πρόβλημα της ύπαρξης της γενικής οικονομικής ισορροπίας. Ο Wald παρουσίασε τις μαθηματικές αποδείξεις της ύπαρξης σε ποικίλα υποδείγματα, κάθε ένα όμως αντιπροσώπευε μια ειδική περίπτωση του γενικού συστήματος ισορροπίας Wald (1934, 1936, 1951).

Τα υπολογιζόμενα υποδείγματα γενικής ισορροπίας που αναπτύχθηκαν βασίζονται κυρίως στο υπόδειγμα εισροών εκροών του Leontief (1930). Ο W. Leontief κατασκεύασε έναν λογιστικό πίνακα (παρόμοιο με αυτόν του Quesnay, 1758) όπου περιγράφονταν όλες οι διασυνδέσεις μεταξύ των παραγωγικών τομέων της οικονομίας των Η.Π.Α.. Το λογιστικό αυτό υπόδειγμα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά λίγο πριν το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου από το BLS (Bureau of Labour Statistics) των Η.Π.Α. προκειμένου να προβλεφθεί η ζήτηση ατσαλιού σε περίπτωση τερματισμού του πολέμου. Η πρόβλεψη του υποδείματος, ότι η παραγωγή ατσαλιού θα παραμείνει σε υψηλά επίπεδα ακόμη και μετά τον πόλεμο, αποδείχθηκε σωστή επικυρώνοντας έτσι σε ένα βαθμό την ορθότητα των υποθέσεων του Leontief στην αναπαράσταση των διακλαδικών σχέσεων των επιχειρήσεων και των ροών του εισοδήματος μεταξύ των οικονομικών παραγόντων.

Η έξαρση ανάπτυξης μοντέλων γενικής ισορροπίας τις δεκαετίες 70' και 80' οφείλεται κυρίως i) στη δυνατότητα αναπαράστασης μεγάλου αριθμού κλάδων παραγωγής ii) στην αύξηση του αριθμού των βάσεων δεδομένων και στατιστικών στοιχείων και iii) στο γεγονός ότι τα υποδείγματα αυτά μπορούσαν να μελετήσουν τις επιπτώσεις φαινομένων για τα οποία δεν υπήρχε προηγούμενη εμπειρία.

Σήμερα, τα υπολογιζόμενα υποδείγματα γενικής ισορροπίας χρησιμοποιούνται ευρέως στην υποστήριξη των πολιτικών αποφάσεων. Το πεδίο εφαρμογής των CGE υποδειγμάτων είναι ευρύ και συμπεριλαμβάνει την οικονομική των πόρων (resource economics) (Devarajan, Luis και Robinson, 1986), διεθνές εμπόριο (de Melo, 1988), δημοσιονομική πολιτική (Pereira και Shoven, 1988), ενέργεια (Bhattacharaya, 1996), απασχόληση (Francois και Nelson, 1998) και κλιματική αλλαγή (Capros, 1997 και Conrad 1999, 2001).

Η θεωρία της γενικής οικονομικής ισορροπίας αποτελεί μια ιδιαίτερα ενεργή και παραγωγική ειδικότητα της οικονομικής θεωρίας μέχρι σήμερα. Η έρευνα κατευθύνεται κυρίως σε τομείς όπως η ενσωμάτωση δυναμικών (intertemporal) στοιχείων, η ενδογενής τεχνολογική αλλαγή, ο ατελής ανταγωνισμός και η κατανομή κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας.

#### **4.1.2 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. Τα μοντέλα υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας



(CGE) είναι προσομοιώσεις που συνδυάζουν την αφηρημένη δομή γενικής ισορροπίας των Arrow-Debreu με ρεαλιστικά οικονομικά στοιχεία για να επιλύσουν αριθμητικά τα επίπεδα προσφοράς, ζήτησης και τιμής που καθορίζουν την ισορροπία σε ένα συγκεκριμένο σύνολο αγορών. Τα μοντέλα CGE είναι ένα πρότυπο εργαλείο της εμπειρικής ανάλυσης, και χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάλυση της συνολικής ευημερίας και τις επιπτώσεις των πολιτικών ενεργειών όπως φόρων, επιδοτήσεων κ.λ.π. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποικίλους τομείς, όπως στη φορολογική μεταρρύθμιση, στο σχεδιασμό αναπτυξιακής πολιτικής, στο διεθνές εμπόριο, και όλο και περισσότερο, σε μεταρρυθμίσεις περιβαλλοντικής πολιτικής.

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 έγινε από τους Arrow-Debreu χρησιμοποιώντας το «θεώρημα σταθερού σημείου» («*fixed point theorem*»). Έπειτα από την απόδειξη ξεκίνησε η ανάπτυξη μια σειρά υποδειγμάτων και αλγορίθμων που θα έλυναν τέτοιου τύπου προβλήματα. 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.

Η κεντρική ιδέα των εφαρμοσμένων υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας αφορά στην "μετατροπή της γενικής Walrasian δομής ισορροπίας από μια αφηρημένη αναπαράσταση της οικονομίας σε ρεαλιστικά υποδείγματα πραγματικών οικονομιών" Shoven και Whalley (1992). Τα υποδείγματα CGE είναι φυσικές προεκτάσεις των παλαιότερων υποδειγμάτων εισροών-εκροών (IO), τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για δεκαετίες για να αποτιμήσουν τα αποτελέσματα διαφόρων πολιτικών. Μεταξύ άλλων τα υποδείγματα CGE επεκτείνουν τα υποδείγματα εισροών εκροών ούτως ώστε να λάβουν υπόψη

- τις δυνατότητες υποκατάστασης μεταξύ εργασίας και κεφαλαίου
- επιλογές τεχνολογίας
- την κυκλική ροή του εισοδήματος μεταξύ νοικοκυριών και επιχειρήσεων

Ο υπολογισμός των παραμέτρων ενός υποδείγματος διατυπώνεται ως εξής:

Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύστημα  $n$  εξισώσεων  $F(y, X, b, e) = 0$  όπου το  $y$  είναι ένα διάνυσμα των ενδογενών μεταβλητών  $n$ , το  $X$  είναι ένα διάνυσμα των εξωγενών μεταβλητών, το  $b$  είναι ένα διάνυσμα των άγνωστων παραμέτρων και το  $e$  είναι ένα διάνυσμα των μη στοχαστικών καταλοίπων μιας γνωστής ή άγνωστης κατανομής πώς το διάνυσμα  $b$  πρέπει να καθοριστεί αριθμητικά ούτως ώστε το  $e$  να λάβει την μικρότερη δυνατή τιμή. Η βιβλιογραφία δίνει τρεις διαφορετικές απαντήσεις σε αυτήν την ερώτηση:

- Οικονομετρική εκτίμηση

- Προσαρμογή στο έτος βάσης - Καλειδοσκόπηση (Calibration)
- Εφαρμογή μεθόδων εντροπίας

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως είναι αυτή της προσαρμογής στο έτος βάσης - *calibration*. Αυτή η μέθοδος συνίσταται σε ρύθμιση όλων των συστατικών του  $e$  ίσων με μηδέν και επίλυση για το διάνυσμα  $b$  βάσει μιας μοναδικής παρατήρησης των  $Y$  και  $X$ . Εντούτοις, στο βαθμό που το  $b$  έχει περισσότερα από  $n$  στοιχεία (δηλ.  $m-n$ ), απαιτούνται παραπάνω πληροφορίες προκειμένου να καθοριστεί το πλήθος των  $m - n$  άγνωστων παραμέτρων. Κατά συνέπεια, η μέθοδος της προσαρμογής στο έτος βάσης υιοθετεί την ισχυρή υπόθεση ότι οι παρατηρηθείσες τιμές των ενδογενών μεταβλητών καθορίζονται μόνο από τους παράγοντες που περιλαμβάνονται ρητά στο υπόδειγμα. Μια κοινή πρακτική στη μέθοδο αυτή είναι να καθοριστούν μερικές παράμετροι βάσει έρευνας της σχετικής βιβλιογραφίας, έτσι ενώ μερικές παράμετροι επιλέγονται αυθαίρετα οι υπόλοιπες παίρνουν τέτοιες τιμές ώστε το υπόδειγμα να αναπαραγάγει τα στοιχεία του έτους βάσης.

Οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την επίλυση των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Σταθερού σημείου –Scarf (1973).
- Γραφή του υποδείγματος σε επίπεδα και έκφρασης του ως σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων - Adelman & Robinson (1978).
- Γραφή του υποδείγματος σε λογαριθμικές-γραμμικές εξισώσεις και επίλυση του συστήματος των γραμμικών εξισώσεων – Johansen (1960), Dixon et al. (1982)
- Μη γραμμικός προγραμματισμός– Ginsburgh & Waelbroeck (1981)

Από τις παραπάνω προσεγγίσεις αυτή που έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική και που τελικά επικράτησε είναι αυτή της γραφής του υποδείγματος ως σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων και η επίλυση του με αλγόριθμους τύπου Gauss-Seidel/Jacobi, Newton- Rapheson, Powel. Αυτή είναι και η μεθοδολογική προσέγγιση που έχει υιοθετηθεί από το υπόδειγμα GEM-E3.

Η γραφή του υποδείγματος γενικής ισορροπίας σε ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων προκύπτει από την μετατροπή των υπο-προβλημάτων αριστοποίησης (μεγιστοποίηση της ευημερίας του καταναλωτή, μεγιστοποίηση του κέρδους της επιχείρησης κτλ.) σε πρόβλημα μεικτής συμπληρωματικότητας MCP (mixed complementarity problem).

Η χρησιμότητα όμως των μοντέλων αυτών συχνά αντιμετωπίζεται με καχυποψία από μερικούς πολιτικούς και κοινωνικούς αναλυτές και κάποιες φορές χαρακτηρίζεται ως «μαύρο κουτί», καθώς τα αποτελέσματα από τα μοντέλα αυτά δεν μπορούν να αποδοθούν ουσιαστικά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της βάσης δεδομένων τους ή σε παραμέτρους εισόδου. Οι επικρίσεις αυτές στηρίζονται συνήθως στα τεκμήρια ότι τα CGE μοντέλα περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών και παραμέτρων , γεγονός που οδηγεί στην αμφισβήτηση των αποτελεσμάτων τους.

Ενώ αυτή η άποψη περιέχει ένα κομμάτι αλήθειας, ενδεικτικό είναι το γεγονός τα βασικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα αυτά, η αριθμητικές μέθοδοι βαθμονόμησης με τις οποίες τα μοντέλα χρησιμοποιούν τα δεδομένα αυτά, και οι τεχνικές με τις οποίες τα προβλήματα μαθηματικού

προγραμματισμού επιλύονται, παράγουν σημαντικά αποτελέσματα που στη συνέχεια αναφέρονται στην πολιτική βιβλιογραφία.

Τα υποδείγματα γενικής οικονομικής ισορροπίας αντιλαμβάνονται τη κυκλική ροή εμπορευμάτων και αμοιβών στην οικονομία που αποτυπώνεται στον *Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής* («*Social Accounting Matrix*») μιας χώρας. 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.

#### **4.1.3 Μοντέλα γενικής ισορροπίας Περιβαλλοντικής και Ενεργειακής Ανάλυσης**

Το επίκεντρο αυτού του κεφαλαίου είναι η σημασία των αλληλεπιδράσεων γενικής ισορροπίας στην εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των περιβαλλοντικών πολιτικών. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις σχετίζονται με ένα ευρύ φάσμα κυβερνητικών πολιτικών όπως ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η αποψίλωση των δασών κ.λ.π. Αυτές οι πολιτικές αυξάνουν τις στρεβλώσεων στις αγορές από προϋπάρχουσες ατέλειες που συνεπάγεται σε υψηλότερο κοινωνικό κόστος από ό, τι υποδεικνύουν τα μερικά μοντέλα ισορροπίας. Αν και τα μοντέλα υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας (μοντέλα CGE) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των επιχειρηματικών κύκλων, μπορούν να υποδείξουν πιθανές επιπτώσεις που προκαλούνται από πολιτικές αλλαγές, και είναι απαραίτητα για την κατάταξη των εναλλακτικών πολιτικών μέτρων. Δεδομένου ότι αυτά τα αριθμητικά μοντέλα βασίζονται σε υποθέσεις που αφορούν την οικονομική ανάπτυξη (ελαστικότητες υποκατάστασης, τεχνική αλλαγή, ή το μέγεθος των εξωγενών μεταβλητών) θα ήταν παραπλανητικός ένας συγκεκριμένος αριθμός αποτελεσμάτων. Αντίθετα, τα μοντέλα CGE θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να κατανοηθούν οι λόγοι για κάποια συγκεκριμένα αποτελέσματα, να πλαισιωθούν καλύτερα οι πολιτικές αποφάσεις, και να υποστηρίχθούν κατάλληλα. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία της γενικής ισορροπίας, οι οικονομολόγοι μπορούν πολύ συχνά να έχουν μια καλή ιδέα για την επίδραση της ευημερίας και τα ποιοτικά αποτελέσματα από μια συγκεκριμένη αλλαγή πολιτικής. Ωστόσο, η χρήση μόνο της θεωρίας, δεν είναι πολύ συχνά ικανή για να προσδιοριστούν τα σημεία των καθαρών αποτελεσμάτων στις αλληλεπιδράσεις της γενικής ισορροπίας, να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές προσεγγίσεις της περιβαλλοντικής πολιτικής, και στη συνέχεια να κατατάχθούν σύμφωνα με τα αποτελέσματά της ευημερίας τους. Τα θεωρητικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέματα γενικής ισορροπίας, αλλά για να είναι αναλυτικά προσιτά, απαραίτητα προϋπόθεση είναι η απλότητα, ενώ τα αριθμητικά μοντέλα CGE επιτρέπουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Πολιτικές που αποσκοπούν στη σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η όξινη βροχή, η αποψίλωση των δασών, η διάθεση των αποβλήτων ή οποιαδήποτε άλλη υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, του νερού, του εδάφους ή της γης συνεπάγεται σε κόστος σε όρους χαμηλότερης αύξησης του ΑΕΠ, μείωση της διεθνούς ανταγωνιστικότητας ή της απασχόλησης. Μια μικρή μεταβολή των σχετικών τιμών θα προκαλέσει επιδράσεις στη γενική ισορροπία σε όλο το σύνολο της οικονομίας. Για το λόγο αυτό είναι συχνά χρήσιμο να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των μέτρων περιβαλλοντικής πολιτικής στο πλαίσιο ενός μοντέλου υπολογίσιμης γενικής ισορροπίας (CGE). Παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα μερικής ισορροπίας καθιστούν δυνατό την υπολογισμό του κόστους των μέτρων περιβαλλοντικής πολιτικής, λαμβάνοντας υπόψη τις διαδικασίες υποκατάστασης στην παραγωγή και στην κατανάλωση, τα μοντέλα CGE επιτρέπουν επιπλέον την προσαρμογή σε όλους τους τομείς, τη δυνατότητα να εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ενδιάμεσης αγοράς εισόδου και τις αγορές για άλλα αγαθά ή ενδιάμεσων εισροών, και ολοκληρώσουν τη σχέση μεταξύ εισοδημάτων και τις δαπάνες των καταναλωτών.

Τα διάφορα υποδείγματα ενεργειακής και περιβαλλοντικής ανάλυσης που δημιουργήθηκαν είναι:

Η πρώτη προσπάθεια ενσωμάτωσης της υπόλοιπης οικονομίας σε ένα ενεργειακό μοντέλο έγινε από τον Allan Manne (1977) με το ETA-MACRO υπόδειγμα. Ο Manne ανέπτυξε ένα μονοτομεακό νεοκλασικό υπόδειγμα προκειμένου να προσδιορίσει την συνολική ζήτηση ενέργειας η οποία χρησίμευε ως εισόδος στο ενεργειακό του μοντέλο. Στις αρχές της δεκαετίας του 90 η έρευνα επικεντρώθηκε περισσότερο στις επιπτώσεις από την χρήση συγκεκριμένων μορφών ενέργειας παρά στον τρόπο με τον οποίο παράγεται ο ηλεκτρισμός. Συγκεκριμένα η ανάλυση του προβλήματος της όξινης βροχής αλλά και της κλιματικής αλλαγής άρχισαν να γίνονται οι κύριοι άξονες ανάπτυξης των υποδειγμάτων. Το πιο γνωστό υπόδειγμα εκείνης της εποχής είναι το παγκόσμιο υπόδειγμα γενικής ισορροπίας GREEN του ΟΟΣΑ που αναπτύχθηκε από τους Burniaux et al (1992). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των CGE υποδειγμάτων να συμπεριλαμβάνουν τόσο την προσφορά όσο και την ζήτηση ενέργειας, αλλά και της ταυτόχρονης αναπαράστασης όλων των αγορών μιας οικονομίας τα καθιέρωσε ως ένα σημαντικό εργαλείο ανάλυσης ενεργειακών και περιβαλλοντικών πολιτικών. Σήμερα υπάρχει πληθώρα υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας προσανατολισμένα στην ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση. Σε αυτό έχει συντελέσει η βελτίωση των αλγορίθμων επίλυσης τους, η επάρκεια των δεδομένων αλλά και η ανάπτυξη λογισμικού ειδικά σχεδιασμένου για την κατασκευή υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας (π.χ. MPSGE). Τα πιο σημαντικά υποδείγματα, από άποψη θεωρητικής τεκμηρίωσης και εφαρμογής, γενικής ισορροπίας που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και για την αξιολόγηση διαφορετικών ενεργειακών πολιτικών. Αυτά είναι τα: EPPA-MIT(2005), GCUBED( 1998), GTAP-E(2000), GTEM-ABARE(2002), και WorldScan (2005).

## 1) G-Cubed

Το υπόδειγμα G-Cubed έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί από τους McKibbin και Wilcoxon (1992). Συνδυάζει την δυναμική μακροοικονομική προσέγγιση του υποδείγματος MSG2 (McKibbin και Sachs, 1991) και το οικονομετρικό κομμάτι του

δυναμικού υποδείγματος γενικής ισορροπίας για την αμερικάνικη οικονομία των Jorgenson και Wilcoxon (1989). Το υπόδειγμα των Jorgenson και Wilcoxon χωρίζει την οικονομία σε 35 οικονομικούς τομείς ο καθένας από τους οποίους αναπαριστάται στο υπόδειγμα από μία συνάρτηση κόστους που έχει εκτιμηθεί οικονομετρικά.

Το υπόδειγμα G-Cubed έχει μόνο 12 τομείς άλλα κάθε τομέας του είναι επίσης βασισμένος σε οικονομετρικά εκτιμημένες συναρτήσεις κόστους. Το υπόδειγμα αυτό κατασκευάστηκε προκειμένου να αξιολογήσει πολιτικές σχετικές με το περιβάλλον και το διεθνές εμπόριο εστιάζοντας όμως ιδιαίτερα σε πολιτικές σχετικές με την κλιματική αλλαγή. Είναι ένα

παγκόσμιο υπόδειγμα το οποίο καλύπτει 10 περιοχές. Οι χώρες συνδέονται διαχρονικώς μέσω του εμπορίου και των χρηματοοικονομικών αγορών. Παράλληλα επιβάλλονται διαχρονικοί περιορισμοί εισοδήματος στα νοικοκυριά, τις κυβερνήσεις και τις χώρες (στις τελευταίες μέσω της συσσώρευσης του εξωτερικού χρέους). Η ενσωμάτωση αυτών των χαρακτηριστικών στο υπόδειγμα προϋπέθεσε την εισαγωγή forward-looking προσδοκιών στις αποφάσεις για κατανάλωση και επένδυση. Ο αριθμός οικονομικών τομέων που περιγράφονται από το υπόδειγμα επιτρέπει την ανάλυση περιβαλλοντικών πολιτικών αφού αυτές τείνουν συνήθως να επηρεάζουν περισσότερο τα μικρά κομμάτια της οικονομίας. Ο συνδυασμός της λεπτομερούς αναπαράστασης των παραγωγικών τομέων με τα μακροοικονομικά χαρακτηριστικά του υποδείγματος MSG2 επιτρέπει στο G-Cubed να εξετάσει τα μακροπρόθεσμα κόστη εναλλακτικών περιβαλλοντικών πολιτικών και ταυτόχρονα να εξετάσει τις μακροοικονομικές τους επιπτώσεις διαχρονικά.

Συνολικά, το υπόδειγμα αποτελεί μία γέφυρα μεταξύ των υποδειγμάτων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας και μακροοικονομικών υποδειγμάτων. Λεπτομέρειες για το συνδυασμό CGE υποδειγμάτων και παραδοσιακών μακροοικονομικών υποδειγμάτων μπορούν να βρεθούν στην μελέτη του McKibbin (1993b).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του G-Cubed είναι:

- Συνδυασμός πραγματικών οικονομιών και χρηματοοικονομικών αγορών.
- Δυναμικός υπολογισμός του αποθέματος και των ροών των πραγματικών πόρων και χρηματοοικονομικών στοιχείων.
- Επιβολή διαχρονικών περιορισμών εισοδήματος έτσι ώστε οι οικονομικοί παράγοντες και οι χώρες να μην μπορούν να δανείζονται και να δανείζονται επ' άπειρον.
- Οι βραχυπρόθεσμες συμπεριφορές είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος νεοκλασική συμπεριφοράς και ad-hoc συμπεριφοράς.
- Το πραγματικό κομμάτι της οικονομίας είναι έτσι κατασκευασμένο ούτως ώστε να επιτρέπει την παραγωγή και εμπορία αγαθών και υπηρεσιών εντός και μεταξύ των χωρών.
- Πλήρες βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο μακροοικονομικό κλείσιμο με την εισαγωγή μακρο-δυναμικών στοιχείων σε ετήσια βάση.
- Το υπόδειγμα λύνεται ανά έτος με λογικές προσδοκίες από το 2000 έως το 2200.

## 2) GTEM

Το υπόδειγμα παγκόσμιου εμπορίου και περιβάλλοντος (Global Trade and Environment Model – GTEM) προέρχεται από το υπόδειγμα MEGABARE (του οποίου ο βασικός πυρήνας προέρχεται από το υπόδειγμα GTAP). Το GTEM θεωρείται ως μια πλήρως ανανεωμένη και εκτεταμένη έκδοση του MEGABARE. Τα κύρια νέα χαρακτηριστικά του υποδείγματος σχετίζονται με την εκτεταμένη κάλυψη των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και με την ύπαρξη συναρτήσεων εκπομπών για τα αέρια του θερμοκηπίου που δεν προέρχονται από καύσεις (Brown et al. 1999; Tulpule et al. 1999).

Άλλες αναθεωρήσεις του υποδείγματος περιλαμβάνουν ένα νέο και απλουστευμένο κανόνα για την κατανομή του εισοδήματος των νοικοκυριών σε ιδιωτική και δημόσια κατανάλωση και μία τροποποιημένη συνάρτηση επενδύσεων. Οι παραγωγοί στο GTEM δραστηριοποιούνται σε τέλεια ανταγωνιστικές αγορές με τεχνολογίες σταθερών αποδόσεων κλίμακας. Κάτω από αυτές τις υποθέσεις οι τιμές είναι τέτοιες που καλύπτουν το κόστος και οι βιομηχανίες έχουν φυσιολογικά κέρδη τα οποία διοχετεύονται στους πρωταρχικούς συντελεστές παραγωγής. Στο GTEM ένα αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό κατέχει όλους τους συντελεστές παραγωγής και λαμβάνει όλες τις πληρωμές που γίνονται σε αυτούς, όλα τα έσοδα από φόρους άλλα και τις καθαρές μεταβιβαστικές πληρωμές από το εξωτερικό. Το διαθέσιμο εισόδημα του νοικοκυριού κατανέμεται σε ιδιωτική, δημόσια κατανάλωση και αποταμίευση. Η εθνική αποταμίευση υποτίθεται ότι συμβαδίζει με το εθνικό εισόδημα.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιεί το υπόδειγμα είναι η GTAP έκδοση 6.0 κατάλληλα τροποποιημένη ώστε να είναι συνεπής με τις ιδιαίτερες ανάγκες του υποδείγματος. Ειδικότερα αλλαγές έγιναν στον ενεργειακό τομέα ενώ επιπρόσθετα δεδομένα συγκεντρώθηκαν για τις εκπομπές αερίων και τον πληθυσμό. Η βασική έκδοση του υποδείγματος περιλαμβάνει 13 περιοχές και 50 τομείς.

Το GTEM επιλύεται χρησιμοποιώντας το λογισμικό GEMPACK. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει στο χρήστη να λύσει σύνθετα μη γραμμικά υποδείγματα τα οποία μπορούν να γραφούν σε γραμμική μορφή. Το GTEM επιλύεται με μία ακολουθία γραμμικών λύσεων (παρόμοια με τη μέθοδο των πολυωνυμικών προσεγγίσεων σε καμπύλη) ανανεώνοντας την βάση δεδομένων του υποδείγματος έπειτα από κάθε λύση.

### **3) EPPA**

Το υπόδειγμα EPPA (Emissions Prediction and Policy Analysis) αναπτύχθηκε στο MIT μέσω του *Joint Program on the Science and Policy of Global Change* και είναι ένα λεπτομερές, παγκόσμιο υπόδειγμα γενικής ισορροπίας. Το υπόδειγμα αυτό χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει διαφορετικές πολιτικές μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και να αναλύσει τις επιπτώσεις και τις συνέπειες των πολιτικών αυτών. Τα αποτελέσματα του υποδείγματος που αφορούν στα αέρια θερμοκηπίου και την χρήση της γης χρησιμοποιούνται σαν είσοδος σε ένα κλιματολογικό υπόδειγμα (IGSM, βλ. Sokolon et al., 2005) το οποίο υπολογίζει τις επιπτώσεις στην δημόσια υγεία, τις επιπτώσεις από την αλλαγή της στάθμης της θάλασσας και τις επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή, στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται ως είσοδος στο υπόδειγμα EPPA. Το υπόδειγμα EPPA προέρχεται από το GREEN (**General Equilibrium Environmental**) το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τον ΟΟΣΑ και αναπτύχθηκε από τον Burniaux, (1992).

Το ΕΡΡΑ είναι ένα πολύ-τομεακό, διαδοχικά δυναμικό<sup>21</sup> (recursive dynamic) υπόδειγμα γενικής ισορροπίας και καλύπτει την περίοδο έως το 2100 ανά πέντε έτη. Η οικονομική δομή κάθε περιοχής του υποδείγματος αποτελείται από 16 παραγωγικούς τομείς. Κάθε ένας από αυτούς του τομείς χαρακτηρίζεται από μία ιεραρχικά δομημένη συνάρτηση σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης. Η μέθοδος υπολογισμού των παραμέτρων είναι το calibration και το έτος βάσης του μοντέλου είναι το 2000. Η βάση δεδομένων του ΕΡΡΑ αποτελείται από πίνακες εισροών εκροών για κάθε μία από τις 16 περιοχές που καλύπτει και από πίνακες διμερούς εμπορίου. Το υπόδειγμα έχει γραφεί στο λογισμικό GAMS ενώ ο αλγόριθμος επίλυσης είναι ο PATH (αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων μεικτής συμπληρωματικότητας)

#### 4) WorldScan

Η πρώτη έκδοση του υποδείγματος κατασκευάστηκε από τους Ben Geurts και Hans Timmer και χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη “Scanning the Future” (CPB, 1992). Το WorldScan ανήκει στην κατηγορία των παραδοσιακών μοντέλων γενικής ισορροπίας αφού βασίζεται στην νεοκλασική θεωρία, έχει ισχυρή μικροοικονομική θεμελίωση και προσδιορίζει την ισορροπία ταυτόχρονα σε όλες τις αγορές.

Το WorldScan διαιρεί τον κόσμο σε 16 περιοχές και αναπαριστά την οικονομία σε 16 τομείς. Οι συναρτήσεις παραγωγής που χρησιμοποιούνται είναι CES και Cobb Douglas. Το μοντέλο υποθέτει όμοια δομή της παραγωγής σε όλους τους τομείς κάθε περιοχής. Επίσης το μοντέλο προσδιορίζει δύο τύπους εργασίας: ειδικευμένη και ανειδίκευτη. Η προσφορά τόσο για τους εξειδικευμένους όσο και για τους ανειδίκευτους εργάτες είναι εξωγενής. Η εργασία έχει κατηγοριοποιηθεί σε ειδικευμένη και ανειδίκευτη βάσει μελετών σχετικών με τον βαθμό εκπαίδευσης του εργατικού δυναμικού κάθε κράτους. Στο υπόδειγμα υποτίθεται ότι άφθονο ειδικευμένο εργατικό δυναμικό υπάρχει στις χώρες του ΟΟΣΑ ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν άφθονο ανειδίκευτο εργατικό δυναμικό. Ο διαχωρισμός αυτός της εργασίας επιτρέπει την περιγραφή των προτύπων εξειδίκευσης μεταξύ των περιοχών του ΟΟΣΑ και των υπολοίπων περιοχών.

Στο WorldScan η αποταμίευση και οι επενδύσεις είναι ίσες σε παγκόσμιο επίπεδο καταδεικνύοντας έτσι την ολοκλήρωση των αγορών κεφαλαίου. Επιπλέον οι αγορές κεφαλαίου έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτρέπεται η προσφορά κεφαλαίου από διαφορετικές περιοχές. Το μοντέλο υποθέτει προσαρμοστικές προσδοκίες για κάποιες βασικές μεταβλητές όπως τα επιτόκια, οι ρυθμοί ανάπτυξης και οι μετοχές. Αυτές οι προσδοκίες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε το μοντέλο να είναι συμβατό με τον steady state ρυθμό ανάπτυξης. Συνολικά, το μοντέλο χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό backward-looking μακρο προσδοκιών και ενός ακριβούς μηχανισμού ισορροπίας στο τομεακό επίπεδο.

Το μοντέλο έχει εκτιμηθεί στο έτος 2001 και χρησιμοποιεί την βάση δεδομένων GTAP v6. Οι προβλέψεις για τον πληθυσμό βασίζονται σε μελέτες των Ηνωμένων Εθνών και ο ρυθμός αύξησης της απασχόλησης σε στοιχεία του διεθνούς οργανισμού εργατικού δυναμικού (International Labour Organization -ILO).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του World Scan είναι:

- Στο εμπόριο υιοθετείται η υπόθεση Armington (1969) επιτρέποντας μεσοπρόθεσμα την μονοπωλιακή δύναμη να καθορίζει τους όρους εμπορίου ενώ οι μηχανισμοί Heckscher – Ohlin ισχύουν μακροπρόθεσμα.
- Ατελής κινητικότητα κεφαλαίου
- Τα καταναλωτικά πρότυπα εξαρτώνται από το κατά κεφαλή εισόδημα.
- Ένας μηχανισμός τύπου Lewis χαμηλής παραγωγικότητας στις αναπτυσσόμενες χώρες από τις οποίες οι υψηλά παραγωγικοί τομείς μπορούν να αντλήσουν εργασία διευκολύνοντας έτσι υψηλή ανάπτυξη για μία μακρά περίοδο.
- Δύο είδη εργασίας: ειδικευμένη και ανειδίκευτη.

## 5) GTAP

Το GTAP στην βασική του έκδοση είναι ένα πολύ-τομεακό υπόδειγμα γενικής ισορροπίας με τέλει ανταγωνισμό και σταθερές αποδόσεις κλίμακας. Το διμερές εμπόριο έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με την υπόθεση του Armington. Το υπόδειγμα δίνει στον χρήστη την επιλογή μεταξύ διαφορετικών κανόνων κλεισίματος περιλαμβάνοντας ακόμα και επιλογές κλεισίματος μερικής ισορροπίας επιτρέποντας έτσι την σύγκριση με μελέτες που έχουν βασιστεί σε μοντέλα μερικής ισορροπίας.

Ο τρόπος με τον οποίο η επιχείρηση συνδυάζει τις εισροές προκειμένου να παράγει βασίζεται στην διαχωριστικότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Γίνεται η υπόθεση ότι οι επιχειρήσεις επιλέγουν το άριστο μείγμα των συντελεστών παραγωγής ανεξάρτητα από τις τιμές των ενδιάμεσων αγαθών. Στο υπόδειγμα μόνο οι σχετικές τιμές της εργασίας και του κεφαλαίου επηρεάζουν την ζήτηση για τα στοιχεία της προστιθέμενης αξίας. Υποθέτοντας αυτού του είδους τον διαχωρισμό το μοντέλο επιβάλλει τον εξής περιορισμό: η ελαστικότητα υποκατάστασης των πρωταρχικών συντελεστών παράγωγης και η ελαστικότητα των ενδιάμεσων εισροών πρέπει να είναι ίσες.

Επιπλέον τα εισαγόμενα ενδιάμεσα αγαθά θεωρούνται ξεχωριστά από τα εγχωρίως παραγόμενα αγαθά ενδιάμεσης χρήσης. Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρήσεις πρώτα αποφασίζουν για τις εισαγωγές τους και έπειτα βάση της προκύπτουσας σύνθετης τιμής εισαγωγής προσδιορίζουν το άριστο μείγμα μεταξύ εισαγόμενων και εγχώριων προϊόντων.

Στο GTAP η συμπεριφορά των νοικοκυριών προσδιορίζεται από μία συναθροιστική συνάρτηση χρησιμότητας που ορίζεται από τη σύνθετη ιδιωτική κατανάλωση, τις δημόσιες αγορές και την αποταμίευση. Το μοντέλο αυτό υιοθετεί μια ειδική περίπτωση της συνάρτησης Stone Geary όπου όλα τα μερίδια ελάχιστης κατανάλωσης είναι ίσα με μηδέν (συνάρτηση Cobb Douglas). Ακόμη ένα χαρακτηριστικό της συνάρτησης χρησιμότητας είναι η χρήση ενός δείκτη κυβερνητικών δαπανών που χρησιμοποιείται ως προσέγγιση του επιπέδου της ευημερίας για την παροχή αγαθών και υπηρεσιών στα νοικοκυριά. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στον Keller (1980) που καταδεικνύει ότι οι προτιμήσεις για δημόσια αγαθά είναι διαφορετικές από τις προτιμήσεις για ιδιωτικά αγαθά.



Ο αντίκτυπος της περιβαλλοντικής πολιτικής θα μπορούσε επίσης να αναλυθεί με μακροοικονομικά μοντέλα που βασίζονται σε κενσιακή θεωρία, σε μονεταριστική προσέγγιση, σε μοντέλα από την πλευρά της προσφοράς, σε μοντέλα με ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης (βέλτιστο έλεγχο, μη γραμμική δυναμική βελτιστοποίηση) ή σε δυναμικά μοντέλα εισόδου-εξόδου. Αυτά τα μοντέλα έχουν επικεντρωθεί στον αντίκτυπο των περιβαλλοντικών πολιτικών στην ανεργία, στον πληθωρισμό, στην ανισορροπία σε ορισμένες αγορές, σε κυκλικές εξελίξεις, σχετικά με τη σύγκλιση και τη σταθερότητα, στη μακροχρόνια ανάπτυξη, καθώς και στην πρόβλεψη. Ένα μειονέκτημα των μακροοικονομικών μοντέλων είναι η ετερογενής θεωρητική υποστήριξη τους. Δεδομένου ότι τα τελευταία χρόνια τα μακροοικονομικά μοντέλα τείνουν να έχουν ενσωματώσει μικροοικονομικά στοιχεία, η διαφορά μεταξύ των μοντέλων CGE και μακροοικονομικών μοντέλων έγινε λιγότερο σαφής. Βασικά, ένα μοντέλο CGE είναι ένα μέλος της κατηγορίας των μακροοικονομικών μοντέλων που έχει ως θεωρητική υποστήριξη την εφαρμογή ενός Arrow-Debreu πλαισίου γενικής ισορροπίας. Η κοινή αποδοχή της μεγιστοποίησης της χρησιμότητας όλων των ατόμων σε μια κοινωνία εξηγεί γιατί η μικροοικονομική θεωρία και η θεωρία γενικής ισορροπίας έχουν επηρεάσει σημαντικά τον σχεδιασμό της πολιτικής. Τα CGE μοντέλα δίνουν απαντήσεις για οικονομικές επιπτώσεις σε αλλαγές στη φορολογία, στις επιχορηγήσεις κ.λπ. Επικεντρώνοντε κυρίως δηλαδή σε μακροπρόθεσμες επιπτώσεις ενώ τα μακροοικονομικά μοντέλα είναι περισσότερο κατάλληλα στο να διαφωτίζουν για τη μετάβαση από τη παλιά στη νέα ισορροπία.

#### **4.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υποδειγμάτων Υπολογίσιμης Οικονομικής Ισορροπίας**

Βασικό πλεονέκτημα της γενικής ισορροπίας είναι η μικροοικονομική θεμελίωση που έχει. Με άλλα 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 προσδιορίσουμε το τελικό αποτέλεσμα του μοντέλου καθώς αυτό εξαρτάται από τις συμπεριφορές των διαφόρων παραγόντων της οικονομίας. Μπορεί, δηλαδή, τα αποτελέσματα να εκπλήξουν και να μην επιβεβαιώνουν τις βασικές οικονομικές αρχές γι' αυτό θα πρέπει να έχουμε πάντα υπόψη ότι δεν μπορεί να παράγει αποτελέσματα έξω και πέρα από το πλαίσιο και τη βασική θεωρία.

Το δεύτερο βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητά του να αντιληφθεί το αντίκτυπο των αναδιανεμητικών τάσεων που μπορεί να πυροδοτήσει μια πολιτική. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις φορολογικών πολιτικών η απόκριση των καταναλωτών και των παραγωγών στην μεταβολή της τιμής ενός αγαθού λόγω αλλαγής ενός φόρου δεν είναι δεδομένη, διότι εξαρτάται από άλλους παράγοντες. Έτσι, με τα μοντέλα αυτά παρατηρούμε τις διάφορες αποκρίσεις που δεν μπορούσαμε να προβλέψουμε εξ' αρχής.

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 «καλιδοσκόπησης» («*Calibration*») με αποτέλεσμα εάν τα δεδομένα εισόδου δεν είναι αντιπροσωπευτικά, οι παράμετροι να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

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.

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 αποτελέσματα.

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 καλύτερα 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.

Επιπλέον, τα μοντέλα CGE είναι η καλύτερη επιλογή, αν η ερώτηση της έρευνας περιλαμβάνει την ανάλυση των στατικών / δυναμικών, άμεσων / έμμεσων και βραχυπρόθεσμων / μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων που προκαλούνται από ένα σοκ. Έτσι, λόγω της φύσης της, η ανάλυση CGE αποδίδει καλά κατά την αξιολόγηση, μεταξύ άλλων σε:

- Δημοσιονομική πολιτική
- Εμπορική πολιτική
- Σοκ κλιματικής Αλλαγής
- Σοκ στις διεθνείς τιμές

#### 4.1.5 Μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος

Η μοντελοποίηση του οικονομικού προβλήματος της γενικής ισορροπίας έγινε από τον Mathiesen. Ο Mathiesen ορίζει μια κλειστή οικονομία με  $m$  αγορές και  $n$  δραστηριότητες με πλήρη ανταγωνιστικές αγορές σε όλους τους κλάδους. 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:

$$b_j: \text{διάνυσμα κεφαλαίων} \quad (4.1)$$

$$p_i: \text{διάνυσμα τιμών} \quad (4.2)$$

$$d_i(p): \text{συναρτήσεις ζήτησης} \quad (4.3)$$

$$\pi_j(p): \text{συναρτήσεις μοναδιαίου κέρδους (με σταθερές αποδόσεις κλίμακας)} \quad (4.4)$$

$$\alpha_j(p) = \alpha_{ij}(p) = \frac{\partial \pi_j(p)}{\partial p_i}: \text{το διάνυσμα των σταθερών εισόδου – εξόδου που βελτιστοποιούν το κέρδος των παραγωγών} \quad (4.5)$$

$$y_j: \text{το διάνυσμα του επιπέδου των δραστηριοτήτων} \quad (4.6)$$

$$A = A(p) = [a_1(p), \dots, a_n(p)]: \text{πίνακας σταθερών εισόδου – εξόδου που επαληθεύει τις μοναδιαίες συναρτήσεις παραγωγής} \quad (4.7)$$

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

$$\pi_j(p) = (\nabla \pi_j(p))^T \cdot p = a^T \cdot p \quad (4.8)$$

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

$$\text{Όλες οι δραστηριότητες έχουν μη μηδενικό κέρδος:} \quad (4.9)$$
$$-A^T \cdot p^* \geq 0$$

Κανένα προϊόν δεν βρίσκεται σε υπερβάλλουσα ζήτηση: (4.10)

$$b + A \cdot y^* - d(p^*) \geq 0$$

Όλες οι τιμές και τα επίπεδα δραστηριοτήτων είναι θετικές/α: (4.11)

$$p^* \geq 0, y^* \geq 0$$

Μία δραστηριότητα η οποία έχει έλλειμμα δεν λειτουργεί. Κάθε δραστηριότητα που λειτουργεί έχει μηδενικό κέρδος:

$$(A^T \cdot p^*)^T \cdot y^* = 0 \quad (4.12)$$

Ένα προϊόν που βρίσκεται σε υπερβάλλουσα προσφορά έχει μηδενική τιμή. Θετική τιμή σημαίνει ότι η προσφορά είναι ίση με τη ζήτηση:

$$p^{*T} \cdot (b + A \cdot y^* - d(p^*)) = 0 \quad (4.13)$$

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). 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

$\omega_k$ : 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:

$$c_j(p) \geq \pi(p) \perp y_j, \text{ όπου:} \quad (4.14)$$

$c_j(p)$ : μοναδιαίο οριακό κόστος του παραγωγού του κλάδου  $j$   
 $p_j(p)$ : μοναδιαίο οριακό έσοδο του παραγωγού του κλάδου  $j$   
 – ισούται με την τιμή στην οποία πωλείται το προϊόν  
 $y_j$ : ποσότητα παραγωγής κλάδου  $j$

- Τις εξισώσεις που εξασφαλίζουν ότι σε κάθε αγορά κανένα προϊόν δεν βρίσκεται σε υπερβάλλουσα ζήτηση:  
 $y_j(p) \geq d_j(p) \perp p_j$ , όπου: (4.15)

$y_j$ : ποσότητα παραγωγής κλάδου  $j$   
 $d_j$ : ποσότητα ζήτησης κλάδου  $j$   
 $p_j$ : τιμή αγοράς αγαθού  $j$

- Τις υπολογιστικές εξισώσεις, οι οποίες δεν έχουν σχέση συμπληρωματικότητας με κάποια μεταβλητή. Ως τέτοια ορίζεται το διάνυσμα των αμοιβών:  
 $M_k = p^T \cdot \omega_k$  (4.16)

## 4.2. Ανάλυση του μακροοικονομικού υποδείγματος

### 4.2.1. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί το σύστημα εξισώσεων που μοντελοποιεί τη συμπεριφορά των νοικοκυριών. Θεωρούμε την ύπαρξη ενός αντιπροσωπευτικού καταναλωτή, ο οποίος προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τη διαχρονική συνάρτηση χρησιμότητάς του, η οποία είναι μια αύξουσα συνάρτηση ως προς τη κατανάλωσή του. Η διαχρονική χρησιμότητα συνδέεται με την ετήσια μέσω μιας λογαριθμικής σχέσης και ενός παράγοντα απόσβεσης, ο οποίος δείχνει το βάρος που δίνει ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής για το μέλλον. Το εισόδημά του προέρχεται από τη προσφορά εργασίας, από μερίσματα και τους τόκους αποταμιεύσεων.

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

s. t.

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

$$U_t = f(HCDTOTV_t), \text{ όπου:}$$

$stp$ : επιτόκιο προεξόφλησης της μελλοντικής χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή

$U_t$ : 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 μωοπικές προσδοκίες, δηλαδή πιστεύει πως η ισορροπία την τρέχουσα περίοδο αντικατοπτρίζει την μακροπρόθεσμη ισορροπία, δίχως να αντιλαμβάνεται πως η οικονομία ίσως δε βρίσκεται ακόμη στο σταθερό σημείο της (steady state) ώστε να δικαιολογηθεί σταθερός ρυθμός αύξησης. Έτσι, υποθέτει ότι οι ποσότητες θα συνεχίσουν να εξελίσσονται με σταθερό ρυθμό αύξησης  $f$ :

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

Το εισόδημα του καταναλωτή αποτελεί state variable καθώς οι αποφάσεις της προηγούμενης περιόδου καθορίζουν τη τιμή του τη τρέχουσα περίοδο. Αυτό δε θα ίσχυε αν το εισόδημα προερχόταν αποκλειστικά από την εργασία, θα μπορούσε να καθοριστεί σε κάθε περίοδο ξεχωριστά. Αλλά από τη στιγμή που εισέρχονται στον υπολογισμό έσοδα από την ενοικίαση κεφαλαίου και από το επιτόκιο δανεισμού, οφείλουμε να λύσουμε «προς τα πίσω» ώστε να συγκλίνει το παραπάνω άθροισμα.

Ο πρώτος παράγοντας στην 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 μοντέλο ως  $RLTLR_t$ .

Το παραπάνω αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ζητείται η μεγιστοποίηση της διαχρονικής χρησιμότητας του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή δεδομένου του εισοδηματικού περιορισμού. Θεωρώντας  $\lambda_t$ : τη δυική μεταβλητή του περιορισμού εισοδήματος, η εξίσωση Lagrange, προκύπτει:

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

Η συνάρτηση χρησιμότητας είναι quasi-concave, οπότε υπάρχει το βέλτιστο σημείο και δύναται να υπολογιστεί μέσω των συνθηκών πρώτης τάξης.

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 συνθήκη βελτιστοποίησης ως προς τη κατανάλωση:

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

Και αντικαθιστώντας την 1<sup>η</sup> συνθήκη 1<sup>ης</sup> τάξης στην 2<sup>η</sup>, 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 βέλτιστης κατανάλωσης, λαμβάνουμε τη σχέση βελτιστοποίησης, *Marshallian*, ως προς τη κατανάλωση κάθε έτους, δεδομένων των προσδοκίων του αντιπροσωπευτικού καταναλωτή:

$$HCDTOTV_t = \left(\frac{1+r}{1+stp}\right)^{-2t} \cdot \frac{1}{pC_t} \cdot INCHS_t = \frac{stp}{r} \cdot \frac{1}{pC_t} \cdot INCHS_t \quad (4.17)$$

Η σχέση (3.17) εκφράζει το ύψος της άριστης κατανάλωσης του νοικοκυριού, αλλά δε καθορίζει το καλάθι κατανάλωσής του, καθώς δεν έχει γίνει ακόμη ο επιμερισμός της στα διάφορα προϊόντα. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω επιμερισμός ο καταναλωτής πρέπει να λύσει το δυικό πρόβλημα της μεγιστοποίησης χρησιμότητας, το οποίο είναι η «ελαχιστοποίηση των εξόδων του», δεδομένου ενός συγκεκριμένου ύψους χρησιμότητας το οποίο οφείλει να επιτύχει.

$$\text{Min}_{x_1, x_2, \dots, x_n} \sum_{\forall i} p_i \cdot x_i$$

s. t.

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq \bar{u}$$

Αν η συνάρτηση ωφέλειας του καταναλωτή είναι αυστηρώς αύξουσα (αρκεί και να ικανοποιεί το local nonsatiation), τότε ο ανισοτικός περιορισμός γίνεται ισοτικός.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω ελαχιστοποίησης θα είναι η ζήτηση Hicks (*Hicksian Demand*). Ως συνάρτηση ωφέλειας του καταναλωτή επιλέγεται η μορφή *Cobb – Douglas*, η οποία εξασφαλίζει ότι η λύση θα βρίσκεται σε εσωτερικό και όχι σε γωνιακό σημείο, με άλλα λόγια, να προκύπτει από την εξίσωση Lagrange. Συνεπώς ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής λύνει το παρακάτω πρόβλημα:

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

s. t.

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

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

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

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

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

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

Το πρόβλημα του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού καταλήγει στις εξής ΚΚΤ συνθήκες:

$$pC_t = pc_0 \sum_{\forall pr} \left( \frac{pHC_{pr,t}}{phc_{pr,0}} \cdot e^{-tge0_{pr \in ene,t}} \right)^{a_{hsh,pr}} \quad (4.18)$$

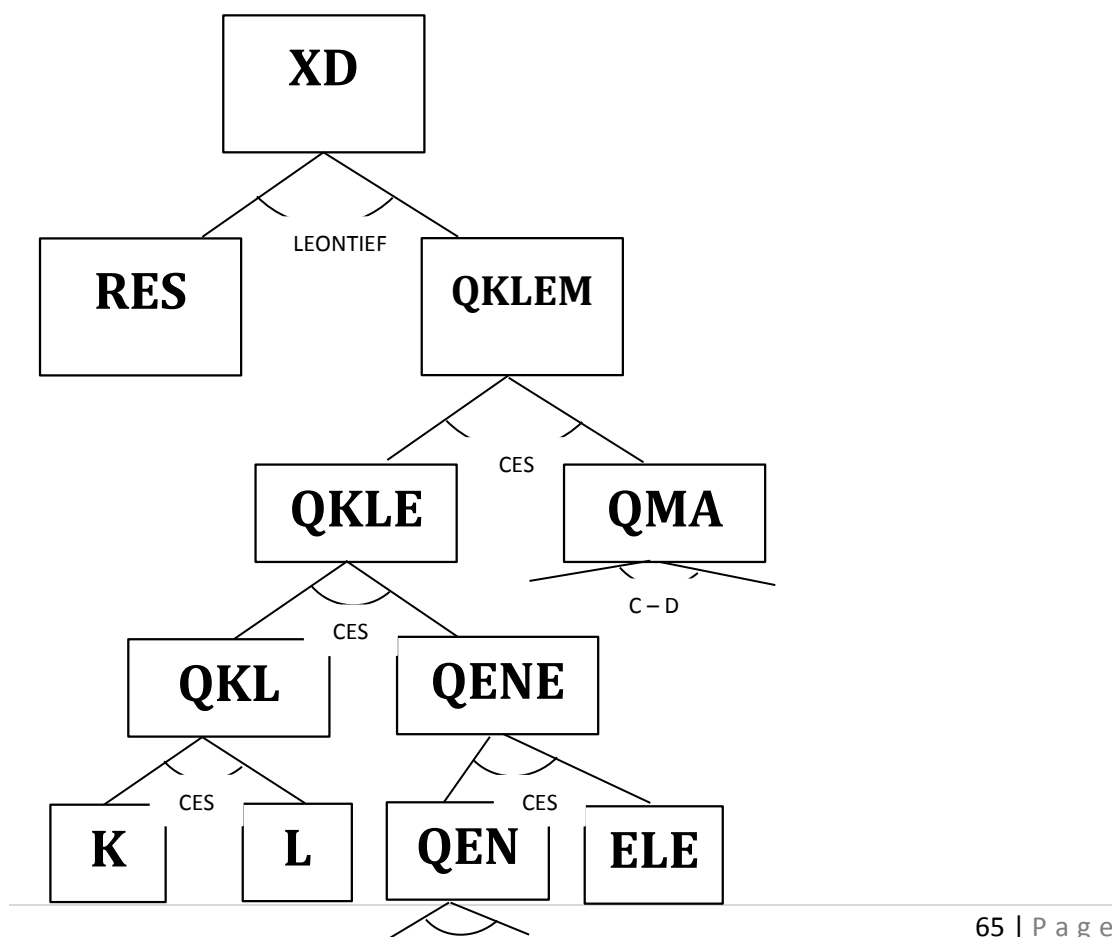
$$HCV_{pr,t} = HCDTOTV_t \cdot a_{pr} \cdot \left( \frac{pc_0}{phc_0} \right) \quad (4.19)$$

Συμπερασματικά, σε πρώτο στάδιο το νοικοκυριό αποφασίζει το ύψος του διαθέσιμου εισοδήματος που θα διαθέσει προς κατανάλωση, ως ποσοστό του συνολικού, και το υπόλοιπο διατίθεται προς αποταμίευση. Το επιτόκιο και η κατανάλωση σχετίζονται αντιστρόφως ανάλογα. Όσο το επιτόκιο αυξάνεται, τόσο το νοικοκυριό στρέφεται προς την αποταμίευση, το οποίο συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης και αντίστροφα. Σε δεύτερο στάδιο ο καταναλωτής διαμοιράζει βέλτιστα τη κατανάλωσή του στα διαθέσιμα αγαθά.



#### 4.2.2. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αντιπροσωπευτικού παραγωγού κάθε κλάδου

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί το σύστημα εξισώσεων που μοντελοποιεί τη συμπεριφορά των επιχειρήσεων. Έχει γίνει η υπόθεση στο υπόδειγμα ότι για κάθε κλάδο της οικονομίας υπάρχει ένας αντιπροσωπευτικός παραγωγός, ο οποίος παράγει ένα μοναδικό ομοιογενές προϊόν, διαφοροποιημένο από τα υπόλοιπα αγθά της οικονομίας. Σε κάθε προϊόν αντιστοιχεί μια συγκεκριμένη αγορά την οποία προσφέρεται. Κάθε επιχείρηση χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση παραγωγής και επιλύει το πρόβλημα μεγιστοποίησης των κερδών της. Να σημειωθεί πως λόγω της υπόθεσης της ύπαρξης τέλει ανταγωνισμού, το πρόβλημα μεγιστοποίησης των κερδών είναι ισοδύναμο με εκείνο της ελαχιστοποίησης του κόστους. 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)*.



## ΣΧΗΜΑ 1: ΔΕΝΤΡΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

*Επεξήγηση των κλάδων:*

*XD:* Συνολικό επίπεδο παραγωγής

*RES:* Επίπεδο δέσμης πρώτων υλών

*QKLEM :* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KLEM (κεφάλαιο, εργασία, ενεργειακά προϊόντα, λοιπά προϊόντα)

*QKLE:* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KLE (κεφάλαιο, εργασία, ενεργειακά προϊόντα)

*QMA:* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού MA (λοιπά προϊόντα)

*QKL:* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού KL (κεφάλαιο, εργασία)

*QENE:* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού ENE (ενεργειακά προϊόντα)

*K:* Επίπεδο δέσμης αγαθού K (κεφάλαιο)

*L:* Επίπεδο δέσμης αγαθού L (εργασία)

*QEN:* Επίπεδο δέσμης του σύνθετου αγαθού EN (ενεργειακά προϊόντα πλην του ηλεκτρισμού)

*ELE:* Επίπεδο δέσμης αγαθού ELE (ηλεκτρισμός)

Το μοντέλο κάνει διάκριση στη συναρτησιακή μορφή που προσομοιώνει τον τρόπο παραγωγής του κάθε κλάδου. Οι συναρτησιακές μορφές επιλέχθηκαν ούτως ώστε η συμπεριφορά του κλάδου να προσομοιάζει στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, στο κλάδο XD οι πρώτες ύλες δεν μπορούν να υποκατασταθούν από το κεφάλαιο, την εργασία και τα υπόλοιπα προϊόντα, αποτελούν συμπληρωματικά προϊόντα 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, συνεπώς δικαιολογείται η χρήση συναρτήσεων σταθερής ελαστικότητας υποκατάστασης (CES) και Cobb – Douglas (C – D) οι οποίες επιτρέπουν την επίτευξη συγκεκριμένου ύψους παραγωγής με περισσότερους από έναν ποσοτικούς συνδυασμούς των απαραίτητων εισροών (Η απεικόνιση του συνόλου παραγωγής στο ύψος της παραγωγής δεν είναι ‘1-1’).

Οι εισροές που χρησιμοποιεί η κάθε επιχείρηση διακρίνονται στους πρωτογενείς συντελεστές παραγωγής (κεφάλαιο, εργασία) και τις ενδιάμεσες εισροές προϊόντων που παράγονται από άλλες επιχειρήσεις.

Οι 11 κλάδοι απαριθμούνται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΡΙΘΜΟΣ 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 1: ΚΛΑΔΟΙ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

Στην γενική του μορφή, ο αντιπροσωπευτικός παραγωγός κάθε κλάδου καλείται να λύσει το παρακάτω πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους για κάθε περίοδο:

$$\text{Min} \sum_{\forall pr} pIO_{pr,br,t} \cdot IOV_{pr,br,t} + pK_t \cdot KAV_{br,t} + pL_t \cdot LAV_{br,t} + pRS_{br,t} \cdot RES_{br,t}$$

*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  $t$

Από αυτό το πρόβλημα προκύπτουν οι παρακάτω ΚΚΤ συνθήκες:

$$pD_{br,t} = \frac{pd_{br,0}}{tfp_t} \left[ \theta_{br,res} \cdot \frac{pRES_{br,t}}{prs_{br,0}} + \theta_{br,klem} \cdot \frac{pKLEM_{br,t}}{pklem_{br,0}} \right] \quad (4.20)$$

$$pKLEM_{br,t} = pKLEklem_{br,0} \quad (4.21)$$

$$\cdot \left( \theta_{br,ma} \cdot \left( \frac{pMA_{br,t}}{pma_{br,0}} \right)^{1-sklem_{br}} + \theta_{br,kle} \cdot \left( \frac{pKLE_{br,t}}{pkle_{br,0}} \right)^{1-sklem_{br}} \right)^{\frac{1}{1-sklem_{br}}}$$

$$pKLE_{br,t} = pkle_{br,0} \left( \theta_{br,kl} \cdot \left( \frac{pKL_{br,t}}{pkl_{br,0}} \right)^{1-skle_{br}} + \theta_{br,ene} \right) \quad (4.22)$$

$$\cdot \left( \frac{pENE_{br,t}}{pene_{br,0}} \right)^{1-skle_{br}} \right)^{\frac{1}{1-skle_{br}}}$$

$$pKL_{br,t} = pkl_{br,0} \quad (4.23)$$

$$\cdot \left( \theta_{br,cap} \cdot \left( \frac{pK_t}{pk_0} \right)^{1-skl_{br}} + \theta_{br,lab} \cdot \left( \frac{pL_t}{pl_0} \right)^{1-skl_{br}} \right)^{\frac{1}{1-skl_{br}}}$$

$$pMA_{br,t} = pma_{br,0} \cdot \prod_{\forall pr \in ma} \left( \frac{pIO_{pr,t}}{pio_{pr,0}} \right)^{a_{pr,ma}} \quad (4.24)$$

$$pENE_{br,t} = pene_{br,0} \quad (4.25)$$

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

$$pEN_{br,t} = pen_{br,0} \quad (4.26)$$

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

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

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

$$IOV_{pr,br,t} = QEN_{br,t} \cdot \theta_{br,e} \cdot e^{-tge_0(pr,ene,t) \cdot (1-sen_{br})} \cdot \left( \frac{pen_{br,0}}{pio_{pr,0}} \right)^{1-sen_{br,t}} \cdot \left( \frac{pEN_{br,t}}{pIO_{pr,t}} \right)^{sen_{br,t}}$$

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

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

**Ζήτηση  
Ηλεκτρισμού από  
τους Παραγωγούς  
(4.27.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  
(4.28)**

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

**Ζήτηση Εργασίας  
από τους  
Παραγωγούς  
(4.29)**

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

**Ζήτηση Πρώτων  
Υλών από τους  
Παραγωγούς  
(4.30)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης KLEM  
από τους  
Παραγωγούς  
(4.31)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης KLE από  
τους Παραγωγούς  
(4.32)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης KL από  
τους Παραγωγούς  
(4.33)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης MA από  
τους Παραγωγούς  
(4.34)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης ΕΝΕ από  
τους Παραγωγούς  
(4.35)**

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

**Ζήτηση  
Ενδιάμεσης  
δέσμης ΕΝ από  
τους Παραγωγούς  
(4.36)**

### 4.2.3. Επένδυση

Ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζει τη δυναμικότητα του υποδείγματος είναι το κριτήριο που εξετάζει ο κάθε παραγωγός ώστε να αποφασίσει τη ζήτησή του για επένδυση. Το κεφάλαιο κάθε επενδυτή απαξιώνεται κάθε περίοδο κατά ένα ποσοστό. Επιπλέον κάθε επενδυτής εξετάζει τη ζήτηση κάθε περιόδου και έχει προσδοκίες για τις επόμενες (αν το μοντέλο δεν είναι μωπικό). Συνεπώς προχωράει σε επένδυση για να καλύψει τη προσδοκώμενη μελλοντική ζήτηση καθώς και για να αναπληρώσει την απόσβεση του ήδη υπάρχοντος κεφαλαίου. Η ανταμοιβή στην οποία προσβλέπει ο επενδυτής εκφράζεται από το  $pKT$ , την πρόσοδο που αποκομίζει από την ενοικίαση του κεφαλαίου του στους παραγωγούς, οι οποίοι το χρειάζονται ώστε να το χρησιμοποιήσουν ως εισροή στις συναρτήσεις παραγωγής τους. Το παρόν υπόδειγμα έχει μωπικές προσδοκίες ως προς την εξέλιξη στο μέλλον, χαρακτηριστικό το οποίο ευθύνεται για το διαφορετικό τρόπο κατανομής των αποταμιεύσεων σε σχέση με ένα μη μωπικό υπόδειγμα. Συνεπώς ο επενδυτής αντιλαμβάνεται το κόστος παραγωγής και την απόδοση κάθε επιλογής του τη τρέχουσα χρονική περίοδο και βάσει αυτών παίρνει απόφαση. Πρόκειται πρακτικά για μια παραλλαγή του Tobin's Q, η οποία προτάθηκε από τους κατασκευαστές του GEM – E3 .

Έτσι, η επένδυση σε κάθε κεφάλαιο δίνεται από τη σχέση:

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

**Ύψος  
Επένδυσης  
(4.37)**

*Ερμηνεία:*

$a_{0inv}$ : 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:

$$pINV_{pr,t} = \sum_{\forall prr} \theta inv_{prr,pr} \cdot e^{-tge_0(pr \in ene,t)} \cdot pINVP_{prr,t} \quad \text{Οριακό Κόστος Κατασκευής Κεφαλαίου} \quad (4.38)$$

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

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

$$INVPV_{prr,pr,t} = INV_{pr,t} \cdot \theta inv_{prr,pr} \cdot e^{-tge_0(pr \in ene,t)} \cdot \left( \frac{p_{inv_{pr,0}}}{p_{inv_{prr,0}}} \right) \quad \text{Ζήτηση Αγαθών για την κατασκευή Κεφαλαίου} \quad (4.39)$$

$$INVD_{pr,t} = \sum_{prr} INVPV_{prr,pr,t} \quad \text{Συνολική Ζήτηση Αγαθών για την κατασκευή Κεφαλαίου} \quad (4.40)$$

Όπου:

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

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

Ενώ, η εξέλιξη του κεφαλαίου στο χρόνο, είναι:

$$KAVC_{t+T} = (1 - decl_t)^T \cdot KAVC_{t+T} + INV_{pr,t} \quad \text{Εξέλιξη του κεφαλαίου στο χρόνο} \quad (4.41)$$

#### 4.2.4. Κυβέρνηση



Ο ρόλος της κυβέρνησης (με την έννοια του κράτους) κατά Musgrave σε μια οικονομία είναι:

- Σταθεροποίηση των οικονομικών κύκλων, ώστε να παραμένει η τάση της οικονομίας κατά το δυνατόν αναλλοίωτη (βραχυπρόθεσμος ορίζοντας).
- Αποτελεσματική κατά Pareto κατανομή των πόρων, στα σημεία που οι αγορές αποτυγχάνουν, λόγω ακαμψίας των τιμών ή μη συμμετρικής πληροφόρησης.
- Επενδύσεις για δημόσια αγαθά, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της υποεπένδυσης στα δημόσια αγαθά λόγω free riding.

Το πιο απλό υπόδειγμα κυβέρνησης, το οποίο φορολογεί, δανείζεται και πραγματοποιεί δημόσια έξοδα χαρακτηρίζεται από το παρακάτω εισοδηματικό περιορισμό:

$$G_t + r_t \cdot B_{t-1} = T_t + (B_t - B_{t-1})$$

Στο πρώτο μέλος της εξίσωσης βρίσκονται τα έξοδα της κυβέρνησης, δηλαδή το ποσό που ξοδεύει για τη λειτουργία του κράτους συν τους τόκους για το χρέος της προηγούμενης περιόδου, τους οποίους οφείλει να πληρώσει. Στο δεύτερο μέλος βρίσκονται τα έσοδα της κυβέρνησης, δηλαδή η φορολογία και ο νέος δανεισμός της τρέχουσας περιόδου. Στο συγκεκριμένο όμως 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  
(4.42)**

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 (4.43)**

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

**Τιμή αγοράς σύνθετου αγαθού από τον κλάδο των επενδύσεων (4.44)**

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

**Τιμή αγοράς σύνθετου αγαθού από τον Δημόσιο (4.45)**

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

**Τιμή αγοράς σύνθετου αγαθού από τους καταναλωτές (4.46)**

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

**Τιμή αγοράς της εργασίας από τους κλάδους παραγωγής (4.47)**

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

**Τιμή αγοράς εγχώριων προϊόντων από τους εγχώριους καταναλωτές (4.48)**

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  $pr$

#### 4.2.5. Εξωτερικό εμπόριο

Η συνολική εγχώρια ζήτηση ικανοποιείται από εγχώρια και εισαγόμενα αγαθά, ακολουθώντας την υπόθεση του Armington, σύμφωνα με την οποία τα αγαθά διαφορετικής προέλευσης θεωρούνται ατελή υποκατάστατα και η ανάμειξή τους δίνει το σύνθετο αγαθό. Το παραπάνω συνεπάγεται ότι τα εισαγόμενα προϊόντα διαφοροποιούνται ως προς τη τιμή ως προς τα εγχώρια. Συνεπώς ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής επιλέγει το καλάθι κατανάλωσής του ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος του με δεδομένο ένα επίπεδο προϊόντος το οποίο πρέπει να επιτύχει. Με αυτό το τρόπο προκύπτει το μείγμα κατανάλωσης μεταξύ εγχωρίων και εισαγόμενων αγαθών. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης έχει ως εξής:

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

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 εγχωρίων προϊόντων που καταναλώνονται από τους εγχώριους καταναλωτές.

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

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

**Ζήτηση  
εισαγόμενων  
αγαθών από  
τους  
εγχώριους  
καταναλωτές  
(4.49)**

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

**Ζήτηση  
εγχώριων  
αγαθών από  
τους  
εγχώριους  
καταναλωτές  
(4.50)**

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

**Τιμή  
σύνθετου  
αγαθού  
(4.51)**

Η τιμή αγοράς των εισαγόμενων αγαθών διαμορφώνεται ως:

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

**Τιμή  
εισαγωγής  
εισαγόμενων  
αγαθών  
(4.52)**

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

**Τιμή αγοράς  
εισαγόμενων  
αγαθών από  
τους  
εγχώριους  
καταναλωτές  
(4.53)**

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

Συμμετρική 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:

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

**Ζήτηση  
εγχώριων  
αγαθών από  
τους  
καταναλωτές  
του  
εξωτερικού  
(4.54)**

#### 4.2.6. 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  $pr$   
(4.55)**

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

**Ύψος  
συνολικής  
ζήτησης  
αγαθού  $pr$   
(4.56)**

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

**Το σύνολο  
του  
ζητούμενου  
κεφαλαίου  
πρέπει να  
είναι  
μικρότερο  
ίσο του  
διαθέσιμου  
(4.57)**

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

Η ζήτηση για πρώτες ύλες περιορίζεται από τη διαθέσιμη ποσότητα (4.58)

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

Η ζήτηση για εργασία περιορίζεται από τη συνολικά διαθέσιμη (4.59)

#### 4.2.7. Υπολογιστικές μεταβλητές και Κανόνες Μακροοικονομικού Κλεισίματος

Ο ορισμός των παρακάτω μεταβλητών δεν είναι απαραίτητος για την επίλυση του υποδείγματος, αλλά βοηθούν στην αποτελεσματικότερη αναπαράσταση των παρακάτω μακροοικονομικών μεγεθών:

$$INCHS_t = \sum_{pr} pK_t \cdot KAV_{pr,t} + pL_t \cdot LAV_{pr,t} + pRS_{pr,t} \cdot RESC_{pr,t} + \overline{KAVTBU}_{ele,t} + \sum_{tec,v} cINVT_{tec,v,t} \cdot KAVCT_{tec,v} - \sum_{tec} \left( pINVT_{tec,t} \cdot \sum_{v(v=t)} KAVCT_{tec,v} \right)$$

Εισόδημα νοικοκυριών (4.60)

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

Έσοδα του κράτους (4.61)

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

Αποταμιεύσεις των νοικοκυριών (4.62)

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

**Αποταμιεύσεις  
του κράτους  
(4.63)**

$$SAV_t = SAVHS_t + SAVGV_t + FSAV_t$$

**Συνολική  
αποταμίευση  
της  
οικονομίας  
(4.64)**

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

**Δείκτης τιμών  
επενδυτικών  
αγαθών  
(4.65)**

Τέλος για το μακροοικονομικό κλείσιμο του υποδείγματος απαιτείται να κλείσει η αγορά χρήματος και το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών. Η πρώτη αγορά κλείνει με τον ισχυρισμό ότι οι συνολικές αποταμιεύσεις της οικονομίας ισούνται με τις συνολικές επενδύσεις, όπως και στο υπόδειγμα IS-LM. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω του επιτοκίου δανεισμού. Το επιτόκιο δανεισμού παίρνει τιμή ώστε να προσελκύει ακριβώς τόσες αποταμιεύσεις όσες είναι και οι επενδύσεις της οικονομίας. Το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών κλείνει με την υπόθεση ότι για οποιοδήποτε εγχώριο έλλειμα χρήματος, θα πρέπει να υπάρχει το αντίστοιχο αντίκρισμα στο εξωτερικό, καθώς η ποσότητα χρήματος είναι πεπερασμένη. Οι εξισώσεις έχουν ως εξής:

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

**Ισοζύγιο  
Τρεχουσών  
Συναλλαγών  
(4.66)**

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

**IS – LM  
(4.67)**

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.

#### 4.2.8. Επιλογή του numeraire

Από τις εξισώσεις του υποδείγματος προκύπτει ένα σύστημα ως προς τις τιμές του οποίου οι εξισώσεις δεν είναι γραμμικώς ανεξάρτητες. Αυτό συμβαίνει επειδή αν έχουν εκκαθαριστεί  $n - 1$  από τις  $n$  αγορές, τότε θα έχει εκκαθαριστεί και η υπολειπόμενη αγορά (νόμος του Walras). Συνεπώς δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί το σύστημα ως προς κάθε τιμή, αλλά είναι δυνατόν να εκφραστούν όλες συναρτήσει μιας (numeraire). Η λύση του συστήματος δείχνει πόσο κοστίζει κάθε αγαθό σε σχέση με αυτό του numeraire. Συνηθίζεται η τιμή του numeraire να τίθεται ίση με 1 καθώς υπάρχει απόλυτη ελευθερία να πάρει οποιαδήποτε θετική τιμή. Αν για παράδειγμα πάρει τη τιμή 2 τότε κάθε τιμή θα είναι διπλάσια σε σχέση με τη προηγούμενη περίπτωση, ώστε να παραμείνει σταθερός ο λόγος των τιμών προς το numeraire. Ως numeraire στο παρόν υπόδειγμα επιλέχθηκε η τιμή της εργασίας  $pL$ .

Πρέπει να προσεχθεί πως 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 εργασίας εάν θεωρήσουμε ως δεδομένη την τιμή της εργασίας, μιας και δεν θα είναι σαφείς οι διακυμάνσεις αυτής, αλλά όλων των άλλων τιμών.



# 5

## *Υβριδικό μοντέλο*

### **5.1. Η σημαντικότητα της εισαγωγής λεπτομέρειας στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής**

Τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας δέχονταν μέχρι πρόσφατα έντονη και βάσιμη κριτική σχετικά με το τρόπο μοντελοποίησης του ηλεκτρικού τομέα. Αυτά τα υποδείγματα αδυνατούν να μοντελοποιήσουν με λεπτομέρεια την αγορά ηλεκτρισμού καθώς αγνοούν τις διαφορετικές ζώνες ζήτησης, τις διαφορετικές τεχνολογίες, αλλά τους θεμελιώδεις νόμους της θερμοδυναμικής οι οποίοι διέπουν τους μηχανισμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα μη ρεαλιστικά αποτελέσματα, καθώς ο ηλεκτρικός τομέας αντιδρά με άλλο τρόπο από το προβλεπόμενο, καθώς δε χαρακτηρίζεται από νεοκλασσικές συναρτήσεις παραγωγής και δε γίνεται αντιληπτός από το μοντέλο γενικής ισορροπίας ο βαθμός υποκατάστασης μεταξύ των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής. Συνεπώς υπερεκτιμάται το κόστος προσαρμογής από την εφαρμογή πολιτικών φορολόγησης στις εκπομπές αερίων ρύπων με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η αντικειμενική αξιολόγηση μιας προτεινόμενης πολιτικής.

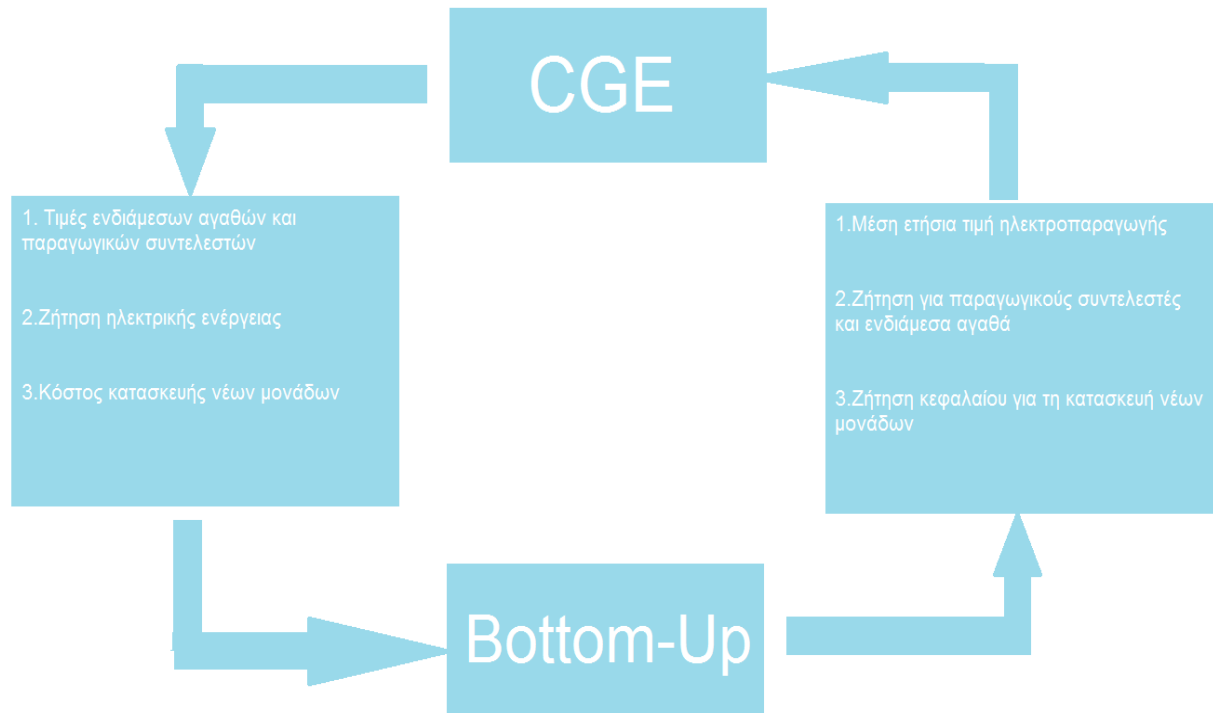
Από την άλλη πλευρά, ένα bottom-up υπόδειγμα, το οποίο αναπαριστά με μεγάλη λεπτομέρεια το τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δε δύναται να αντιληφθεί την αλληλεπίδραση μεταξύ του τομέα ηλεκτρισμού και του συνόλου της οικονομίας.

Επιπλέον είναι δύσκολο να εφαρμοστεί η θεωρητικά συνεπής ιδέα κατασκευής ενός «υπερ-υποδείγματος» το οποίο λύνει ταυτόχρονα και για το σύνολο της οικονομίας αλλά και για τη λεπτομερή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (soft link), λόγω μη διαχειρίσιμης πολυπλοκότητας και αδυναμίας στη σύγκλιση λόγω διαφορετικών βάσεων δεδομένων ή αντικρουόμενων υποθέσεων.

Η ουσιαστική απάντηση στο παραπάνω πρόβλημα αποτελεί ένας λειτουργικός τρόπος σύνδεσης των δύο υποδειγμάτων, του bottom-up και του top-down, ώστε ακόμη και αν δεν επιλύονται ταυτόχρονα, να μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ώστε η έξοδος του ενός να αποτελεί την είσοδο του άλλου και αντίστροφα, μέχρις ότου να επιτευχθεί σύγκλιση στο σημείο ισορροπίας (hard link). Για παράδειγμα, ο ηλεκτρικός τομέας (bottom-up) λαμβάνει ως είσοδο τη συνολική ζήτηση ηλεκτρισμού η οποία αποτελεί έξοδο του top-down υποδείγματος και διαμορφώνει τη τιμή της ενέργειας, καθώς και το τρόπο που θα παραχθεί και τα εισάγει στο top-down υπόδειγμα, ώστε να λύσει βάσει αυτών. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαδοχικά μέχρι την άφιξη σε ένα σταθερό σημείο, όπου τα αποτελέσματα των υποδειγμάτων θα είναι τα ίδια με την είσοδό τους ( $f(x_{fixed}) = x_{fixed}$ ). Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου που περιλαμβάνει την διασύνδεση των αγορών που προσφέρουν τα top-down υποδείγματα με την λεπτομερή αναπαράσταση του ενεργειακού κλάδου που προσφέρουν τα bottom-up υποδείγματα αποτελεί μέχρι και σήμερα αντικείμενο έρευνας αφετηρία της οποίας υπήρξε το υβριδικό CGE υπόδειγμα του Alan Manne (1977).

## 5.2. Σύνδεση των δύο υποδειγμάτων

Στο παρόν μοντέλο επιλέχθηκε η σκληρή σύνδεση (hard link) μεταξύ των δύο υποδειγμάτων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται επακριβώς οι πληροφορίες που αντλεί το ένα υπόδειγμα από το άλλο και αντίστροφα.



**ΣΧΗΜΑ 2: ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ**

Επεξηγώντας το σχήμα, το bottom-up υπόδειγμα, δεδομένων των προηγούμενων αποτελεσμάτων του CGE, επιλύει, κατασκευάζει τη καμπύλη διάρκειας φορτίου σε 11 διαφορετικές ζώνες, ανάλογα με το απαιτούμενο επίπεδο ισχύος και παρέχει στο μακροοικονομικό μοντέλο γενικής ισορροπίας τη μέση ετήσια τιμή της ηλεκτροπαραγωγής, τη ζήτηση για παραγωγικούς συντελεστές και ενδιάμεσα αγαθά, καθώς και ζήτηση όσον αφορά το κεφάλαιο, για τη κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής. Με τη σειρά του, το μακροοικονομικό υπόδειγμα, αφού έχει τροφοδοτηθεί με τα παραπάνω αποτελέσματα, επιλύει και παρέχει στο bottom-up τις τιμές των ενδιάμεσων αγαθών και των παραγωγικών συντελεστών, τη συνολική ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το κόστος κεφαλαίου για τη κατασκευή νέων μονάδων. Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται επαναληπτικά, μέχρις ότου αμφότερα τα υποδείγματα να δώσουν έξοδο η οποία θα είναι ταυτόσημη, ή τουλάχιστον εντός ενός ορίου ανοχής, με την έξοδο που έδωσαν στη προηγούμενη επανάληψη. Όταν αυτό συμβεί, αν συμβεί, δεν έχει περαιτέρω νόημα να εκτελούνται τα υποδείγματα, το σύνολο των αγορών έχει φτάσει σε ισορροπία. Η κατανομή είναι κατά Pareto αποτελεσματική, 1<sup>ο</sup> Θεώρημα Οικονομικής Ευημερίας, οπότε κανένα μέλος της οικονομίας δεν επιθυμεί κάποια περαιτέρω διαπραγμάτευση με τα υπόλοιπα.

Το υπόδειγμα αποφασίζει την επένδυση υποθέτοντας την εξέλιξη των τιμών και της ζήτησης στο μέλλον, για ένα διάστημα 10 ετών (δηλαδή δύο 5 – ετιών). 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, επιλύεται μια αλληλουχία στατικών υποδειγμάτων, ανά πενταετία, όπου η επένδυση της μιας πενταετίας αποτελεί υπάρχον κεφάλαιο για την επόμενη.

Ακολουθεί η παράθεση των εξισώσεων που διέπουν το υπόδειγμα, αρχικά από το κλάδο ηλεκτρικής ενέργειας (ELE):

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

**Οριακό  
κόστος  
παραγωγής  
κλάδου  
H.E.  
(5.1.)**

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

**Οριακό  
κόστος  
κλάδου  
μεταφοράς  
και  
διανομής  
H.E.  
(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  
H.E.  
(5.3)**

Έπειτα, ξαναγράφουμε τις εξισώσεις του bottom-up υποδείγματος (κεφ.3), μόνο που οι εξωγενείς τιμές και ποσότητες έχουν αντικατασταθεί από της αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται από το top-down υπόδειγμα, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αλληλεπίδραση:

$$\begin{aligned}
mpF_{tec,vtime,dem,runtime} & \quad (5.4) \\
& = \left( \frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime-ts} \\
& \cdot \sum_{pr \in \text{mapin} p_{tec,pr,tec}} (pio_{pr,t} + emfCO2_{tec} \\
& \cdot txcarb_{ff,runtime}) \cdot heatrate_{tec,vtime} \\
& \cdot \left( \frac{FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}}{scalef_{tec,runtime}} \right)^{nlpow_{tec,runtime}} \\
& \perp mpF_{tec,vtime,dem,runtime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
mpFC_{tec,runtime} & \quad (5.5) \\
& = 5 \cdot (scalepinv \cdot scalep) \\
& \quad \sum_t pINVT_{tec,t} \\
& \cdot \left[ \frac{((1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}} - 1)}{discr_{tec} \cdot (1 + discr_{tec})^{lifetime_{tec}}} \right] \\
& \perp mpFC_{tec,runtime}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
FUEL_{tec,vtime,dem,runtime} & \quad (5.6) \\
& = heatrate_{tec,vtime,dem,runtime} \cdot dur_{dem} \\
& \cdot GEN_{tec,vtime,dem,runtime} \\
& \perp FUEL_{tec,vtime,dem,runtime}
\end{aligned}$$

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

$$\sum_{runtime \geq vtime} \left( \frac{1}{1 + \delta} \right)^{runtime - ts} \cdot (mpFC_{tec, runtime} - invnl_{tec, vtime} \cdot \left( \frac{IPI_{runtime}}{ipi_0} \right) \cdot \log\left(1 - \frac{KAVCT_{tec, vtime}}{pot_{tec, vtime}}\right)) \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} &\geq \sum_{runtime \geq vtime, dem} pKT_{tec, vtime, dem, runtime} \cdot dur_{dem} \\ &\cdot util_{tec, dem, vtime} \\ &+ \sum_{runtime \geq vtime, dem} pHE_{tec \in hydro, vtime, dem, runtime} \\ &\cdot dur_{dem} \cdot util_{tec \in hydro, dem, vtime} \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} POWDM_{dem, butime} &= \left[ \sum_{pr, t} loadprof_{pr, runtime} \cdot XXDELE_{pr, pr, t} \right. \\ &\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime - 1} \\ &+ \sum_{vt} loadprof_{hsh, runtime} \cdot XXDELE_{hsh, hsh, t} \\ &\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime - 1} \\ &+ \sum_{vt} loadprof_{gov, runtime} \cdot XXDELE_{gov, gov, t} \\ &\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime - 1} \\ &+ \sum_{vt} loadprof_{inv, runtime} \cdot XXDELE_{inv, inv, t} \\ &\cdot (1 + bugrt_{butime, ts})^{butime - 1} \\ &+ \left. \sum_{vt} loadprof_{ex, runtime} \cdot XXDELE_{ex, ex, t} \right] \cdot \theta_{sup, t} \cdot \left( \frac{pd_{ele, 0}}{tf p_t} \right) \\ &\perp POWDM_{dem, butime} \end{aligned}$$

$$\sum_{tec, vtime} GEN_{tec, vtime, dem, runtime} \geq POWDM_{tem, runtime} \quad (5.10)$$

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

$$\sum_{tec, vtime} (KAVCT_{tec, vtime} - decom_{tec, vtime, runtime}) \cdot util_{tec, dem, vtime} \quad (5.11)$$

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

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

$$\sum_{tec,vtime} (KAVCT_{tec,vtime} - decom_{tec,vtime,runtime}) \cdot util_{tec,dem,vtime} \quad (5.12)$$

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

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

$$energymax_{hydro,runtime} \quad (5.13)$$

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

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

Η τιμή του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής, ορίζεται ως:

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

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

$$+ \left( \sum_{tec,vtime} mpFC_{tec,vtime} \cdot KAVCT_{tec,vtime} \right) / \sum_{tec,vtime,dem} dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t}$$

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  
(5.15a)

$$cINVT_{tec,vtime,t} = \frac{pINVT_{tec,t}}{\left[ \frac{(1 + rltlr_t)^{constime_{tec}} - 1}{rltlr_t \cdot (1 + rltlr_t)^{constime_{tec}}} \right]}$$

Δείκτης που  
σχετίζεται με  
την ετήσια  
πληρωμή κατά  
τη διάρκεια  
κατασκευής  
μιας μονάδας  
(5.15b)

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

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)

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

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)



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

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

$$\begin{aligned}
IOVTBU_{pr,ele,t} & = DIST_{ele,t} \cdot \left( \frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) \cdot distco \\
& \cdot e^{-tge0_{pr \in ene,t}} \cdot \left( \frac{pdist_0}{pio_{pr,0}} \right) \\
& + \sum_{tec \in mapinptec_{pr,tec,vtime,dem}} FUEL_{tec,vtime,dem,t} \\
& + + \sum_{tec,vtime,dem} \left( \frac{vomc}{pio_{pr,0}} \right) \cdot vomCCO_{pr,tec} \\
& \cdot e^{-tge0_{pr \in ene,t}} \cdot dur_{dem} \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \\
& \cdot \left( \frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right)
\end{aligned}$$

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

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

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

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

Ζήτηση Η.Ε.  
από  
αντιπροσωπευ-  
τικό  
καταναλωτή,  
σε GWh  
(5.23)

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

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

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

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

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

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

Όπου:

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

$techdinv_{prr,tec}$ : 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.  
(4.27.δ)**

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

**Η ζήτηση για  
εργασία  
περιορίζεται  
από τη  
συνολικά  
διαθέσιμη  
(4.59)**

$$INCHS_t = \sum_{pr} pK_t \cdot KAV_{pr,t} + pL_t \cdot LAV_{pr,t} + pRS_{pr,t} \\ \cdot RESC_{pr,t} + KAVTBU_{ele,t} \\ + \sum_{tec,v} cINVT_{tec,v,t} \cdot KAVCT_{tec,v} \\ - \sum_{tec} \left( pINVT_{tec,t} \cdot \sum_{v(v=t)} KAVCT_{tec,v} \right)$$

**Εισόδημα  
νοικοκυριών  
(4.60)**

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

**IS – LM  
(4.67)**

Το σύνολο των εξισώσεων (4.17) – (4.67) , (5.1) – (5.26), συνιστούν το Πρόβλημα Μεικτής Συμπληρωματικότητας που επιλύεται με τη χρήση του λογισμικού GAMS.

Τέλος, παρατίθεται η ερμηνεία των διαφορετικών χρονικών μεταβλητών του υποδείγματος:

- Ο χρόνος  $t$  είναι ο τρέχων χρόνος για τον οποίο επιλύεται το υπόδειγμα
- Ο χρόνος  $runtime$  αναφέρεται στον ορίζοντα επίλυσης του προβλήματος της ηλεκτροπαραγωγής
- ο χρόνος  $vtime$  είναι το έτος δημιουργίας του κάθε εργοστασίου

# 6

## *Μηχανισμός αποπληρωμής κεφαλαίου*

### **6.1. Θεωρητικό υπόβαθρο**

Η επένδυση είναι ένα από τα σημαντικότερα και δυναμικότερα στοιχεία της συνολικής δαπάνης και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του εισοδήματος και του προϊόντος ισορροπίας της οικονομίας. Οι μεταβολές στο μέγεθος της επένδυσης αποτελούν μία από τις κυριότερες αιτίες των διακυμάνσεων του εθνικού προϊόντος και εισοδήματος.

Η επένδυση στην οικονομία συμβάλει στη δημιουργία νέων κεφαλαιουχικών αγαθών παραδείγματος χάριν νέων κτιρίων, εγκαταστάσεων και μηχανολογικού εξοπλισμού ή προσαυξήσεις και βελτιώσεις σε υπάρχοντα κεφαλαιουχικό εξοπλισμό, οτιδήποτε δηλαδή αυξάνει το υλικό κεφάλαιο της οικονομίας. Επένδυση δεν αποτελεί η δαπάνη για αγορά μετοχών, ομολογιών, οικοπέδων και παλαιών κτιρίων και εγκαταστάσεων, καθώς αποτελούν μεταβίβαση κυριότητας αγαθών ή χρηματιστηριακών τίτλων από ένα πρόσωπο σε άλλο.

Μια επένδυση αντιπροσωπεύεται από το ύψος της δαπάνης που γίνεται για την αγορά προϊόντος για τη δημιουργία του κεφαλαίου αυτού, αλλά και από τη μεταβολή των αποθεμάτων. Είναι ροή, αναφέρεται δηλαδή σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Ως κεφάλαιο ορίζεται το απόθεμα των κεφαλαιουχικών αγαθών μιας οικονομίας.

Επένδυση επομένως είναι η μεταβολή του αποθέματος αυτού. Έτσι, υπάρχει αντιστοιχία επένδυσης και κεφαλαίου. Ως απόσβεση ορίζεται η απαξίωση μέρους του υπάρχοντος κεφαλαίου για την παραγωγή του προϊόντος της οικονομίας. Καθαρή επένδυση υπάρχει όταν η ακαθάριστη επένδυση, δηλαδή η συνολική επένδυση κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, είναι μεγαλύτερη από την απόσβεση και τότε παρατηρείται αύξηση του κεφαλαίου της οικονομίας. Τελος, αρνητική καθαρή επένδυση υπάρχει όταν η ακαθάριστη επένδυση, είναι μικρότερη των αντίστοιχων αποσβέσεων.

### **6.1.1. Νεοκλασική θεωρία επένδυσης**

Η νεοκλασική θεωρία για επενδύσεις που αναπτύχθηκε από τους Jorgenson (1963) και Hall (1967) βασίζεται στην υπόθεση της ύπαρξης πλήρους ανταγωνισμού στην αγορά του κεφαλαίου. Σύμφωνα λοιπόν με τους Modigliani and Miller (1958), το κόστος του κεφαλαίου είναι ίσο με το επιτόκιο των ομολογιών, οι οποίες ομολογίες μπορούν να θεωρηθούν ως βέβαιης απόδοσης περιουσιακά στοιχεία, και έτσι η επιχείρηση θα έχει την τάση να δώσει ώθηση στις επενδύσεις μέχρι το σημείο όπου η οριακή απόδοση των περιουσιακών στοιχείων (π.χ. ομολόγων) είναι ίση με το επιτόκιο της αγοράς. Κάθε επένδυση αναλαμβάνεται αν και εφόσον προβλέπεται ότι αυτή θα αποδώσει κάποια πρόσοδο. Η απόδοση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η διαδικασία της επένδυσης αυξάνει την παραγωγικότητα και των άλλων συντελεστών της παραγωγής και ακριβώς αυτή η αύξηση αποτελεί την αμοιβή για την επένδυση που πραγματοποιήθηκε. Η συνολική επένδυση αποτελεί συνάρτηση του επιτοκίου και μόνο, σε ένα μοντέλο βεβαιότητας, άσχετα με το αν η χρηματοδότηση προέρχεται από χρεωστικούς τίτλους ή από το απόθεμα. Ένα τέτοιο συμπέρασμα όμως θα ήταν αρκετά επιπόλαιο μιας και το επιτόκιο σε μακροοικονομικό επίπεδο, δεν μπορεί να θεωρηθεί με βεβαιότητα ότι ασκεί μια τόσο σημαντική και άμεση επίδραση στις επενδύσεις και σε μικροοικονομικό επίπεδο, ένα τέτοιο υπόδειγμα θα παρείχε μικρή βοήθεια σε μια επιχείρηση της οποίας τα βασικά επενδυτικά προβλήματα σχετίζονται με την αβεβαιότητα, δεδομένου πως μοντέλο αγνοεί όλες τις μορφές χρηματοδότησης. Εισάγοντας λοιπόν την αβεβαιότητα οι Modigliani and Miller (1958) κατέληξαν πως το παραπάνω συμπέρασμα γίνεται πιο σύνθετο. Η κάθε απόφαση της επιχείρησης δεν οδηγεί σε ένα μοναδικό αποτέλεσμα κέρδους, αλλά σε πολλαπλά αποτελέσματα τα οποία στην καλύτερη περίπτωση μπορούν να περιγραφούν από μια υποκειμενική κατανομή πιθανότητας. Γενικότερα, η χρηματοδότηση μιας επένδυσης μέσω του χρέους αντί των ιδίων κεφαλαίων θα αυξήσει την αναμενόμενη απόδοση του επενδυτή αλλά μόνο με το κόστος της αυξημένης διασποράς των πολλαπλών αποτελεσμάτων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες συμπεραίνουμε ότι για να προχωρήσει μια επιχείρηση σε μια επένδυση θα πρέπει να συγκρίνει την αναμενόμενη απόδοση που θα του επιφέρει η επένδυση αυτή με τα άλλα χαρακτηριστικά της κατανομής. Αυτή η προσέγγιση επιδιώκει να διερευνήσει τα αποτελέσματα από τους εναλλακτικούς τρόπους χρηματοδότησης μια επένδυσης και δίνει κάποια σημασία στο κόστος από την επιλογή διαφορετικών τρόπων χρηματοδότησης.

Υπάρχουν όμως κάποια μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα η δυσκολία κατασκευής αυτής της συνάρτησης επενδύσεων. Λύση σε αυτά τα μειονεκτήματα έδωσε η προσέγγιση που έγινε με βάση το δεύτερο κριτήριο, αυτό που βασίζεται στην

μεγιστοποίηση της αξίας της αγοράς. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση λοιπόν κάθε επενδυτικό σχέδιο και το συνοδευόμενο χρηματοοικονομικό πλάνο για αυτό θα πρέπει να δίνει λύση στον εξής προβληματισμό: αν το χρηματοδοτούμενο σχέδιο επένδυσης αυξάνει ή όχι την τιμή αγοράς των μετοχών της επιχείρησης. Αν ναι, τότε συμφέρει να γίνεται η επένδυση. Η ανάλυση ολοκληρώθηκε χωρίζοντας τις επιχειρήσεις σε τάξεις ανάλογα με την κεφαλαιακή τους δομή και διατύπωσαν τρεις προτάσεις που αποτέλεσαν την βασικό εργαλείο ανάλυσης της θεωρίας των επενδύσεων για μεταγενέστερους οικονομολόγους. Αυτές οι προτάσεις είναι οι εξής:

- Το μέσο κόστος του κεφαλαίου σε κάθε επιχείρηση είναι ανεξάρτητο από την κεφαλαιακή της δομή και ισούται με το επιτόκιο κεφαλαιοποίησης του καθαρού μετοχικού της κεφαλαίου.
- Η αναμενόμενη απόδοση μιας μετοχής ισούται με το ποσοστό κεφαλαιοποίησης μιας καθαρής ροής ιδίων κεφαλαίων προσαυξημένη με ένα ασφάλιστρο που σχετίζεται με τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο που με την σειρά του ισούται με τον λόγο του χρέους προς τα ίδια κεφάλαια.
- Το σημείο αποκοπής, δηλαδή η απόφαση για το αν μια επιχείρηση θα αναλαμβάνει μια επένδυση, θα είναι σε κάθε περίπτωση ένας συγκεκριμένος αριθμός ανεπηρέαστος από τον τρόπο χρηματοδότησης της επένδυσης.

Βασιζόμενος στις παραπάνω υποθέσεις των Modigliani and Miller, ο Jorgenson (1963) ανέπτυξε την νεοκλασική θεωρία για επενδύσεις σύμφωνα με την οποία το πρόβλημα της αριστοποίησης μιας επιχείρησης μπορεί να λυθεί χωρίς αναφορά σε χρηματοοικονομικούς παράγοντες προκρίνοντας το κόστος του κεφαλαίου ως τον μόνο προσδιοριστικό παράγοντα για την επενδυτική απόφαση. Σε έναν κόσμο χωρίς περιορισμούς, δηλαδή συμμετρική πληροφόρηση, απουσία φόρων και τέλειος ανταγωνισμός στην αγορά, η επενδυτική απόφαση εξαρτάται μόνο από το αν το επενδυτικό σχέδιο έχει θετική καθαρή παρούσα αξία και αν ισχύει αυτό, μπορεί να χρηματοδοτηθεί από οποιονδήποτε συνδυασμό ιδίων κεφαλαίων-δανειακού κεφαλαίου. Ο Jorgensen (1967) θεωρεί μια νέα έκδοση της νεοκλασικής θεωρίας, αυτή της βέλτιστης συσσώρευσης κεφαλαίου, σύμφωνα με την οποία ο αντικειμενικός στόχος της επιχείρησης είναι η μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας. Σε αυτόν τον στόχο μπορούμε να οδηγηθούμε μέσα από την μεγιστοποίηση της χρησιμότητας που προσφέρει μια δεσμίδα κατανάλωσης, έχοντας ένα σταθερό σύνολο παραγωγικών δυνατοτήτων και σταθερές τρέχουσες και μελλοντικές τιμές. Δεδομένου ότι η επιλογή του σχεδίου παραγωγής είναι ανεξάρτητη από την αντίστοιχη επιλογή της δεσμίδας κατανάλωσης, δύο άτομα με διαφορετικές προτιμήσεις ως προς τις δεσμίδες κατανάλωσης θα επιλέξουν το ίδιο σχέδιο παραγωγής. Τέλος, η ανάλυση του Jorgensen (1967) καταλήγει ότι η ζήτηση για επενδύσεις είναι συνάρτηση του επιτοκίου. Παρόλα αυτά η ζήτηση για επενδύσεις εξαρτάται από το επιτόκιο μέσα από μια σύγκριση εναλλακτικών τρόπων συσσώρευσης κεφαλαίου και ο κάθε τρόπος είναι ανάλογος της πορείας του επιτοκίου στον χρόνο. Τελικά η ζήτηση για επενδύσεις εξαρτάται από τις αλλαγές στην ζήτηση για κεφάλαιο ως προς τις αλλαγές στην τιμή της εισροής κεφαλαίου, το ρυθμό αυτής της μεταβολής και τον βαθμό αντικατάστασης του κεφαλαίου:

$$I = \frac{\partial K}{\partial w} \cdot \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial K}{\partial c} \cdot \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial K}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} + dK$$

Οι Hall and Jorgenson (1967) στηριζόμενοι στην νεοκλασική θεωρία για επενδύσεις όπως αυτή διατυπώθηκε από τους Modigliani and Miller (1958) και Jorgenson (1963) πήγαν έναν βήμα μπροστά την ανάλυση αυτή προσθέτοντας την φορολογία και προσπάθησαν να εξετάσουν το πώς αυτή επηρεάζει την απόφαση για επενδύσεις. Σύμφωνα με τους Hall and Jorgenson (1967), η φορολογία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο τόσο στο μέγεθος της επένδυσης όσο και στην χρονική στιγμή που αυτή θα λάβει χώρα. Οι επιπτώσεις της φορολογικής πολιτικής στις επενδύσεις εισέρχονται στην συνάρτηση της επένδυσης μέσω της αξίας μίσθωσης του κεφαλαίου.

Εκτός όμως από την έννοια της επένδυσης, πρέπει να δοθεί και ο ορισμός του επενδυτικού σχεδίου για μια επιχείρηση, σύμφωνα με τα παραγωγικά έργα που προσφέρει στο κοινωνικό σύνολο (γεωργικές βιομηχανίες, βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία, επιχειρήσεις μεταφορών κ.α.) τα οποία έχουν δημιουργηθεί για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες σε αγαθά και υπηρεσίες. Το επενδυτικό σχέδιο είναι μια πολυσύνθετη δραστηριότητα, που αναλαμβάνει κάποιος επιχειρηματικός φορέας (επενδυτής) και απαιτεί μια σειρά από ορθά σχεδιασμένες αποφάσεις και ενέργειες διάθεσης σπάνιων πόρων, για να δημιουργηθεί σε επιλεγμένη θέση μια νέα παραγωγική μονάδα ή να επεκταθεί μια υφιστάμενη, που έχει ορισμένο χρόνο ζωής και παράγει αγαθά και υπηρεσίες τα οποία ζητούνται στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό. Η έννοια της επένδυσης και κατά συνέπεια και του επενδυτικού σχεδίου, θα γίνει περισσότερο κατανοητή αν γίνει αναφορά στα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν το περιεχόμενό της. Τα κυριότερα της στοιχεία είναι τα ακόλουθα:

- Ο φορέας που επενδύει, ο οποίος πρέπει να πάρει ορισμένες καλά μελετημένες και σχεδιασμένες αποφάσεις για την ολοκλήρωση της επένδυσης σε παραγωγική μονάδα. Ο επιχειρηματικός φορέας μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε νομικό πρόσωπο (π.χ. ιδιώτης, ανώνυμη εταιρεία, δημόσια επιχείρηση, συνεταιρισμός κ.α.).
- Το αντικείμενο της επένδυσης δηλ. το αγαθό στο οποίο επενδύονται ή αλλιώς δεσμεύονται διαθέσιμοι πόροι για άλλες χρήσεις. Το αγαθό της επένδυσης δηλ. το αγαθό που αποτελεί το έρεισμα για επένδυση, μπορεί να είναι οποιασδήποτε φύσης, υλικό ή άυλο, διαρκές ή άμεσα καταναλωτό. Έτσι η δημιουργία αποθεμάτων των αγαθών με σκοπό την πραγματοποίηση μελλοντικών ωφελειών, η αγορά φήμης και πελατείας, η διαφήμιση, η αγορά τίτλων συμμετοχής σε άλλες επιχειρήσεις αποτελούν κι αυτά επενδύσεις.
- Η αξία της ελπίδας για την αποκόμιση ωφελειών στο μέλλον. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επένδυσης όπου δεσμεύονται πόροι στο παρόν με την ελπίδα της αποκόμισης μεγαλύτερων ωφελειών στο μέλλον και εκφράζει την οικονομική έννοια της επένδυσης.

### 6.1.2. Χαρακτηριστικά στοιχεία της επένδυσης

Από τον ορισμό της επένδυσης προκύπτουν τα χαρακτηριστικά της στοιχεία τα οποία είναι:

- Η διάρκεια ζωής μιας επένδυσης να μην μπορεί να είναι ίση με τη διάρκεια της περιόδου κατασκευής (κατασκευαστικής περιόδου) ή της περιόδου μέχρι την έναρξη της εκμετάλλευσης (λειτουργίας) του έργου και της περιόδου εκμετάλλευσης του έργου αλλά δεν είναι πάντα δεδομένη από τη φύση της και από τις τεχνικές ιδιότητες των διαρκών αγαθών. Εξαρτάται συνήθως από την τεχνική πρόοδο και τα χαρακτηριστικά των μεταγενέστερων διαρκών αγαθών, από τις μεταβολές στα διάφορα μεγέθη, δηλαδή στο εισόδημα των καταναλωτών, στις τιμές των διαρκών, καταναλωτών, κεφαλαιουχικών και καταναλωτικών αγαθών και από την εξέλιξη των προτιμήσεων των ατόμων.
- Οι «θυσίες», συνήθως ροή «θυσιών», που γίνονται τόσο για την απόκτηση (αγορά και κατασκευή) του διαρκούς αγαθού, αλλά και για την εκμετάλλευσή του κατά τη διάρκεια της ζωής του. Οι θυσίες εκφράζονται σε χρήμα και συνιστούν αφ' ενός το κόστος της επένδυσης και αφ' ετέρου τις δαπάνες εκμετάλλευσης κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης όπως μισθοί, πρώτες ύλες ή υλικά συντήρησης.
- Οι «ωφέλειες», συνήθως ροή «ωφελειών», κατά τη διάρκεια ζωής του διαρκούς αγαθού. Οι ωφέλειες εκφράζονται συνήθως σε χρηματική αξία και κατά κύριο λόγο συνιστούν έσοδα από την εκμετάλλευση του διαρκούς αγαθού.
- Η ημερομηνία κατασκευής ή πραγματοποίησης της επένδυσης. Η χρονική στιγμή πραγματοποίησης μιας επένδυσης συνιστά συνήθως αντικείμενο επιλογής και εξαρτάται κυρίως από τη φάση της οικονομικής συγκυρίας αλλά και από την επίδραση του χρόνου στη διαμόρφωση της ροής των εσόδων και των δαπανών.

Τα παραπάνω στοιχεία προσδιορίζουν την ταυτότητα μιας επένδυσης. Ο πλήρης προσδιορισμός όμως της ταυτότητας μιας επένδυσης δεν είναι πάντα εύκολος. Η πραγματοποίηση μιας επένδυσης μπορεί να έχει έμμεσες επιπτώσεις σε όλους τους τομείς της επιχείρησης, οι οποίες να μην είναι δυνατόν να απομονωθούν και να εκφραστούν ποσοτικά. Υπάρχουν όμως και επενδύσεις αρκετά σημαντικές για την επιβίωση της επιχείρησης όπως έρευνες, εκπαίδευση προσωπικού και διαφήμιση, για τις οποίες δεν είναι πάντα εφικτή η μεμονωμένη ποσοτική εκτίμηση των ωφελειών τους.

### 6.1.3. Η σημασία των επενδύσεων στη μακροοικονομική ανάπτυξη

Η κάθε μία χώρα ξεχωριστά, έχει δομήσει με τέτοιο τρόπο την οικονομία της, έτσι



ώστε να στηρίζεται πάντα στις δυνατότητες που διαθέτει για την παραγωγή αγαθών αλλά και υπηρεσιών. Όμως, οι πολίτες μιας χώρας έχουν την τάση να πραγματοποιούν ολοένα και περισσότερες επενδύσεις με συνέπεια να αυξάνεται όχι μόνο η ροή των αγαθών και υπηρεσιών αλλά και η οικονομική ευημερία της κάθε χώρας. Οι επενδύσεις και κατά συνέπεια τα επενδυτικά σχέδια, όταν πραγματοποιούνται, έχουν πολλαπλά αποτελέσματα στην οικονομική ζωή μιας χώρας. Στη συνέχεια ακολουθούν μερικοί από τους λόγους για τους οποίους γίνεται αυτό. Αρχικά, οι επενδύσεις προσφέρουν συνεχώς νέες ευκαιρίες απασχόλησης και μειώνουν έτσι σε μεγάλο βαθμό την ανεργία που θεωρείται ως η σπουδαιότερη οικονομική ασθένεια και αξιοποιούν τους αδρανείς εθνικούς πόρους μιας χώρας. Καταπολεμούν σε μεγάλο βαθμό τον πληθωρισμό και αυξάνουν την παραγωγή αλλά και την προσφορά αγαθών και υπηρεσιών. Επιπλέον, επιταχύνουν την οικονομική ανάπτυξη της κάθε χώρας και έχουν σοβαρές αναδιανεμητικές επιπτώσεις τόσο στις παραγωγικές τάξεις όσο και στις διάφορες περιοχές. Ακόμη, ενισχύουν συνήθως την εξωτερική οικονομική θέση μιας χώρας υποκαθιστώντας τις εισαγωγές και διευρύνοντας σε μεγάλο βαθμό τις εξαγωγές, εδραιώνουν με την καλλιέργεια κλίματος επιχειρηματικής δραστηριότητας και την εμπιστοσύνη στο μέλλον της χώρας.

#### **6.1.4. Επενδύσεις σε ατελείς αγορές**

Η έλλειψη ενός ικανοποιητικού αριθμού εμπειρικών μελετών που θα επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η νεοκλασική θεωρία για την ζήτηση επενδύσεων και κυρίως η διαπίστωση ότι αυτή αποτυγχάνει όταν βρισκόμαστε σε ένα περιβάλλον ατελούς ζήτησης του κεφαλαίου οδήγησε σε μια εναλλακτική ανάλυση της ζήτησης για επενδύσεις. Οι παρεκκλίσεις από την νεοκλασική θεωρία, λόγω ασύμμετρης πληροφόρησης μεταξύ των δανειστών και των δανειζόμενων ίσως οδηγήσει σε τιμολόγηση, όπου κάποιες επιχειρήσεις στερούνται την πρόσβαση στις πιστώσεις εντελώς ή τους επιτρέπεται να δανειστούν με την προϋπόθεση ότι έχουν πληρώσει κάποιο ασφάλιστρο. Οι Stiglitz and Weiss (1981) λοιπόν παρουσίασαν ένα μοντέλο όπου μεταξύ παρόμοιων σε χαρακτηριστικά δανειζόμενων, κάποιοι λαμβάνουν δάνεια και κάποιοι άλλοι όχι. Οι δανειζόμενοι που στερούνται το δάνειο, δεν θα είναι σε θέση να δανειστούν αν δε δεχτούν να πληρώσουν περισσότερο από το επιτόκιο της αγοράς (ασφάλιστρο) ή να προσφέρουν περισσότερα περιουσιακά στοιχεία από αυτά που ζητούνται από τους λήπτες των δανείων. Αυξάνοντας τα επιτόκια ή τα περιουσιακά στοιχεία που απαιτούνται μπορεί να αυξήσει την επικινδυνότητα των τραπεζικών δανείων είτε αποθαρρύνοντας επενδυτές που αποστρέφονται τον κίνδυνο, είτε παρακινώντας τους δανειολήπτες να επενδύσουν σε πιο επενδυτικά προγράμματα υψηλότερου ρίσκου, μειώνοντας έτσι τα κέρδη των τραπεζών. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι περιορισμοί λόγω των τιμών παίρνουν την μορφή περιορισμού του αριθμού των δανείων που η τράπεζα δίνει και όχι την μορφή περιορισμού του μεγέθους των δανείων. Εκτός από την ύπαρξη υπερβάλλουσας ζήτησης στην ισορροπία σε πιστωτικές αγορές, η ατελής πληροφόρηση μπορεί να οδηγήσει επίσης σε υπερβάλλουσα προσφορά. Έστω ότι η τράπεζα δίνει υψηλότερη απόδοση σε κάποιους από τους δανειολήπτες της από ότι σε κάποιους άλλους μιας και γνωρίζουν ποιοι από τους πελάτες της αξίζει να τιμολογηθούν, κάτι που δεν γνωρίζουν οι ανταγωνιστές της. Αν μια ανταγωνιστική τράπεζα προσπαθήσει να προσελκύσει τους πελάτες της προσφέροντας χαμηλότερο

επιτόκιο θα διαπιστώσει ότι η προσφορά της αντισταθμίζεται από ένα εξίσου χαμηλό επιτόκιο όταν ο πελάτης είναι λάτρης του πιστωτικού κινδύνου και δεν θα αντισταθμιστεί αν ο πελάτης δεν επιδιώκει το κέρδος από την τράπεζα. Έτσι οι τράπεζες σπάνια επιδιώκουν να πάρουν πελάτες από τους ανταγωνιστές τους μιας και το μόνο που θα πετύχουν είναι να προσελκύσουν τους πελάτες που δεν επιδιώκουν το κέρδος. Οι Mayers and Majluf (1984) και οι Fazzari, Hubbard and Petersen (1988) παρουσίασαν μια εναλλακτική προσέγγιση, από την έως τότε γνωστή νεοκλασική θεωρία, όσον αφορά τις επενδύσεις η οποία βασίστηκε στην άποψη ότι τα εσωτερικά και εξωτερικά κεφάλαια δεν είναι τέλεια υποκατάστατα. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, οι επενδύσεις ίσως επηρεάζονται από χρηματοοικονομικούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα της εσωτερικής χρηματοδότησης, η πρόσβαση σε νέο χρέος ή ίδια κεφάλαια, ή η λειτουργία συγκεκριμένων πιστωτικών αγορών. Για να παρέχουν μια εξήγηση για αυτές τις ατέλειες στην αγορά του κεφαλαίου οι Fazzari (1988) επικεντρώνονται σε προβλήματα στην αγορά κεφαλαίου ειδικά στο πρόβλημα της ασύμμετρης πληροφόρησης που δυσκολεύει σε μεγάλο βαθμό τους εξωτερικούς χρηματοδότες να εκτιμήσουν επαρκώς τις επενδυτικές ευκαιρίες της επιχείρησης. Σαν αποτέλεσμα το κόστος που προκύπτει από την χρηματοδότηση μέσω νέου χρέους και ιδίων κεφαλαίων διαφέρει από το κόστος ευκαιρίας που προκύπτει από την εσωτερική χρηματοδότηση δηλαδή από τις ταμειακές ροές και τα αδιανέμητα κέρδη.

### **6.1.5. Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων και επενδύσεις**

Μεγάλο μέρος της ανάλυσης για την ζήτηση των επενδύσεων είναι το γεγονός ότι χαρακτηριστικά της επιχείρησης, όπως το μέγεθός της, η ηλικία της, η μόχλευση, η μερισματική πολιτική, ο ισολογισμός της, η ευκολία πρόσβασης στον εξωτερικό δανεισμό, η αβεβαιότητα αλλά και μέσα μακροοικονομικής πολιτικής (φορολογία) επιδρούν στις επενδυτικές αποφάσεις των επιχειρήσεων. Πάνω σε αυτό στήριζαν την ανάλυσή τους πολλοί οικονομολόγοι όπως οι Fazzari (1988), Philip Vermeulen (2000), Takeo Hoshi (1991), Huntley Schaller (1993) και άλλοι. Όσον αφορά το μέγεθος της επιχείρησης, μια μικρή επιχείρηση παρακρατεί περισσότερα κέρδη από μια μεγάλη και επίσης μια μικρή επιχείρηση πληρώνει μεγαλύτερη τιμή για χρηματοδότηση μέσω ιδίων κεφαλαίων και οι επενδυτικές τους δαπάνες επηρεάζονται περισσότερο από την ρευστότητα.. Κατά τη διάρκεια μιας ύφεσης, οι μεγάλες επιχειρήσεις έχουν πιο εύκολη πρόσβαση στον εξωτερικό δανεισμό και έτσι από την στιγμή που τα εσωτερικά και εξωτερικά κεφάλαια δεν είναι πλήρη υποκατάστατα, οικονομικές κρίσεις και αλλαγές στην φορολογική πολιτική που επηρεάζουν την εσωτερική χρηματοδότηση θα έχουν μεγαλύτερες συνέπειες για τις μικρές επιχειρήσεις. Πέραν από το μέγεθος, χρήσιμα συμπεράσματα έχουν προκύψει όσον αφορά τα χρηματοοικονομικά χαρακτηριστικά που έχει η κάθε επιχείρηση και το πώς αυτά επηρεάζουν την επενδυτική της απόφαση. Συγκεκριμένα οι επενδύσεις θα είναι πιο ευαίσθητες στην εσωτερική χρηματοδότηση όπως παραδείγματος χάριν στις ταμειακές ροές, για επιχειρήσεις που πληρώνουν μικρό ποσό για μερίσματα σε σχέση με τις επιχειρήσεις που πληρώνουν μεγάλο ποσό. Οι επιχειρήσεις δηλαδή, που πληρώνουν μικρότερο ποσό για μερίσματα θα είναι πιο ευαίσθητες στην ρευστότητα σε σχέση με τις επιχειρήσεις που παρακρατούν μεγάλα ποσά. Εάν το μειονέκτημα κόστους της εξωτερικής χρηματοδότησης είναι μεγάλο, οι επιδράσεις θα είναι πιο έντονες για τις επιχειρήσεις που κρατούν μεγαλύτερο ποσοστό από το εισόδημά τους, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν έχουμε μικρό μειονέκτημα κόστους, η

πρακτική της κατακράτησης μέρος του εισοδήματος μας αποκαλύπτει λίγα για την επενδυτική συμπεριφορά της επιχείρησης. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι στην περίπτωση που η εσωτερική χρηματοδότηση και η εξωτερική είναι πλήρη υποκατάστατα (νεοκλασική προσέγγιση της ζήτησης για επενδύσεις), η πρακτική της κατακράτησης δεν αποκαλύπτει σχεδόν τίποτα για την επενδυτική συμπεριφορά της επιχείρησης. Στο ίδιο μήκος κύματος κινήθηκε και ο Vermeulen (2000) σύμφωνα με τον οποίο ένας αδύναμος ισολογισμός σε μια επιχείρηση μπορεί να ενισχύσει τους κραδασμούς που υφίσταται μια οικονομία και άρα να έχει αρνητικά αποτελέσματα για τις επενδυτικές δαπάνες μιας επιχείρησης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της επιχείρησης που δείχνει να παίζει σημαντικό ρόλο στην απόφαση της επιχείρησης για επενδύσεις είναι η ηλικία της. Συγκεκριμένα, οι νέες επιχειρήσεις πληρώνουν μεγαλύτερο ποσό για να χρηματοδοτήσουν μια επένδυση μέσω των ιδίων κεφαλαίων και έτσι οι επενδυτικές τους αποφάσεις είναι πιο ευαίσθητες στην ρευστότητα της επιχείρησης σε σχέση με τις ώριμες επιχειρήσεις οι οποίες θα μπορούσαμε να πούμε ότι συμφωνούν με το μοντέλο της νεοκλασικής προσέγγισης για επενδύσεις, σύμφωνα με το οποίο οι επενδυτικές αποφάσεις μιας επιχείρησης δεν σχετίζονται με την χρηματοοικονομική της κατάσταση. Σύμφωνα με την νεοκλασική προσέγγιση η οποία υποθέτει συνθήκες τέλει ανταγωνισμού, σταθερών αποδόσεων κλίμακας, πλήρους αναστρεψιμότητας του κεφαλαίου, και ουδετερότητας στο κίνδυνο, η επένδυση αντιδρά θετικά στην αβεβαιότητα. Συγκεκριμένα ο Οί (1961), ο οποίος ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με την συμπεριφορά μιας ανταγωνιστικής επιχείρησης σε συνθήκες αβεβαιότητας θεωρεί ότι η αβεβαιότητα λαμβάνει την μορφή αστάθειας στην τιμή του προϊόντος που παράγεται από την επιχείρηση. Ο Οί καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η υψηλότερη αβεβαιότητα ως προς την τιμή του προϊόντος αυξάνει το κίνητρο για επένδυση δεδομένου ότι η συνάρτηση κέρδους της επιχείρησης είναι κυρτή. Έτσι εάν υπάρχει μια αύξηση στη διακύμανση των μελλοντικών τιμών (αβεβαιότητα), θα οδηγήσει σε αύξηση στα αναμενόμενα μελλοντικά κέρδη. Για τις επιχειρήσεις που είναι ουδέτερες στον κίνδυνο, η αύξηση των αναμενόμενων μελλοντικών κερδών οδηγεί σε αύξηση των επενδυτικών προγραμμάτων που επιδεικνύουν θετική καθαρή παρούσα αξία και συνεπώς ωθεί την επιχείρηση να αναλάβει επιπρόσθετη επένδυση. Στην συνέχεια οι Hartman (1972) και Abel (1983) κινούμενοι στο ίδιο μήκος κύματος με τον Οί εξετάζουν και αυτοί την επίδραση της αβεβαιότητας στην επένδυση σε συνθήκες τέλει ανταγωνισμού, δηλαδή σταθερών αποδόσεων κλίμακας, πλήρους αναστρεψιμότητας του κεφαλαίου και ουδετερότητας στο κίνδυνο. Αμφότερες οι δύο αναλύσεις οδηγούν στο παραδοσιακό αποτέλεσμα της θετικής επίδρασης της αβεβαιότητας στην επένδυση.

Το οριακό προϊόν του κεφαλαίου είναι κυρτή συνάρτηση της αβεβαιότητας και άρα όσο υψηλότερη είναι η αβεβαιότητα, τόσο υψηλότερη θα είναι η οριακή αποδοτικότητα του κεφαλαίου και συνεπώς η επιχείρηση θα έχει κίνητρο να επενδύσει περισσότερο. Η συμπεριφορά της επιχείρησης ως προς τον κίνδυνο είναι επίσης ένα σημαντικό στοιχείο. Οι Sandmo (1971) και Leland (1972) αποδεικνύουν ότι η επίπτωση της αβεβαιότητας στην επένδυση είναι αρνητική όσο οι επιχειρήσεις αποστρέφονται τον κίνδυνο. Επίσης ο Nickell (1978) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η υπόθεση της αποστροφής του κινδύνου αλλάζει τα αποτελέσματα των Hartman-Abel επιφέροντας αρνητική αντίδραση της επένδυσης στην αβεβαιότητα. Τέλος, οι Zeira (1990) και Nakamura (1999) αποδεικνύουν θεωρητικά ότι ο βαθμός αποστροφής στον κίνδυνο προκαλεί αρνητική ελαστικότητα επένδυσης-αβεβαιότητας. Κατά συνέπεια, οι περισσότερες θεωρητικές μελέτες καταλήγουν στο

συμπέρασμα ότι η πιθανότητα εμφάνισης αρνητικής σχέσης μεταξύ επένδυσης και αβεβαιότητας αυξάνεται με το βαθμό αποστροφής της επιχείρησης στον κίνδυνο.

### 6.1.6. Λήψη αποφάσεων για πάγιες επενδύσεις

Κύριος στόχος των επιχειρήσεων είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη αποδοτικότητα των επενδύσεων, δηλαδή η ικανότητά τους να αποφέρουν κέρδη, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το μέγεθός τους στην οικονομία. Πρέπει επομένως, πριν εξεταστούν οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το μέγεθος των επενδύσεων των επιχειρήσεων, να εξεταστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την αναμενόμενη αποδοτικότητά τους. Η αναμενόμενη αποδοτικότητα μιας επένδυσης εξαρτάται από το κόστος  $K$ , το οποίο υποθέτουμε ότι καταβάλλεται κατά τη στιγμή πραγματοποίησης της επένδυσης και τη ροή των αποδόσεων της  $(A_1, A_2, \dots, A_n)$ , οι οποίες πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια  $1, 2, 3, \dots, n$  περιόδων και αφορούν στη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Απόδοση επένδυσης κατά την περίοδο  $i$  ορίζεται η διαφορά μεταξύ των επιπλέον εσόδων που η επιχείρηση αναμένει να πραγματοποιήσει κατά την περίοδο αυτή και του επιπλέον κόστους για την πραγματοποίηση των εσόδων αυτών. Να τονιστεί ότι δεν περιλαμβάνονται η απόσβεση της επένδυσης και ο τόκος των σχετικών χρηματικών κεφαλαίων.

### 6.1.7. Μέθοδοι λήψης αποφάσεων για τη πραγματοποίηση της επένδυσης

1<sup>η</sup> μέθοδος:

Σύγκριση του κόστους  $K$  μιας επένδυσης με τις αναμενόμενες αποδόσεις. Για να προστεθούν οι μελλοντικές αποδόσεις θα πρέπει να βρεθεί η παρούσα αξία τους με την προεξόφληση της αξίας κάθε απόδοσης για τον αριθμό των περιόδων  $(A_1, A_2, \dots, A_n)$  που παρεμβάλλονται μεταξύ του παρόντος και του χρόνου πραγματοποίησης της απόδοσης. Για την κατανόηση του τύπου της προεξόφλησης της αξίας θα πρέπει να δούμε πώς υπολογίζεται ο ανατοκισμός ή δανεισμός με σύνθετο τόκο ο οποίος είναι το αντίθετο της προεξόφλησης της μελλοντικής αξίας.

Έστω ότι ένα ποσό  $B_0$  τοκίζεται για μια περίοδο με επιτόκιο  $r$ , στο τέλος της περιόδου θα υπάρξει ένα ποσό  $B_1$  που θα είναι ίσο με το αρχικό κεφάλαιο συν τον τόκο, δηλαδή:  $B_1 = B_0 + B_0 \cdot r = B_0 \cdot (1 + r)$ .

Αν το ποσό  $B_1$  τοκιστεί για μια ακόμα περίοδο με το ίδιο επιτόκιο, θα ληφθεί ποσό  $B_2$ , όπου:  $B_2 = B_1 + B_1 \cdot r = B_0 \cdot (1 + r) + B_0 \cdot (1 + r) \cdot r = B_0 \cdot (1 + r)^2$ . Στο τέλος της περιόδου  $n$ , το ποσό θα είναι:  $B_n = B_0 \cdot (1 + r)^n$ .

Αν και η μεγιστοποίηση του κέρδους είναι βασική υπόθεση επενδύσεων, μπορεί να υπάρξουν και άλλοι όπως η αύξηση του μεγέθους της επιχείρησης. Αν και η απόδοση των επενδύσεων είναι μικρότερη από την απόδοση των ίδιων χρηματικών κεφαλαίων σε εναλλακτικές τοποθετήσεις, ιδιαίτερα όταν οι επιχειρήσεις έχουν σωρεύσει μεγάλα ποσά χρηματικών διαθεσίμων. Αντί να τα τοποθετήσουν εντόκως στην τράπεζα,

προτιμούν να τα χρησιμοποιήσουν για να ενισχύσουν την παραγωγική τους δυναμικότητα. Υποστηρίζεται όμως ότι και έτσι, στόχος είναι πάλι η μεγιστοποίηση του κέρδους μακροχρόνια ακόμα και αν υπάρχει μικρότερο κέρδος βραχυχρόνια.

### 2η μέθοδος:

Η μέθοδος της οριακής αποδοτικότητας του κεφαλαίου ορίζεται:

$$K = A_1 (1 + \lambda) + A_2 (1 + \lambda)^2 + A_3 (1 + \lambda)^3 + \dots + A_n (1 + \lambda)^n + \Gamma(1 + \lambda)^n ,$$

όπου  $\lambda$  είναι το επιτόκιο που εξισώνει την παρούσα αξία των αποδόσεων με το κόστος των νέων κεφαλαιουχικών αγαθών, δηλαδή η αποδοτικότητα του πρόσθετου υλικού κεφαλαίου που δημιουργείται με την επένδυση.

Αν  $\lambda > r$ , συμφέρει την επιχείρηση να δανειστεί χρήματα ή να χρησιμοποιεί δικά της χρηματικά ποσά για να αυξήσει το υλικό της κεφάλαιο. Αν  $\lambda < r$  τότε δε συμφέρει την επιχείρηση να δανειστεί και αν έχει δικά της χρήματα πρέπει να τα δανείσει. Αν  $\lambda = r$  το σενάριο της επένδυσης είναι αδιάφορο.

## **6.1.8. Μακροοικονομικές πολιτικές και επενδύσεις**

Τέλος, όσον αφορά τις μακροοικονομικές πολιτικές, όπως παραδείγματος χάρι αλλαγές στην φορολογία, μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις επενδυτικές αποφάσεις. Επιχειρήσεις που είναι χρηματοοικονομικά περιορισμένες είναι πιο ευαίσθητες σε φορολογικές επιβαρύνσεις. Συγκεκριμένα αυτό που ενδιαφέρει μια επιχείρηση προκειμένου να αναλάβει μια επένδυση είναι οι οριακοί φορολογικοί συντελεστές που επιβαρύνουν τις αποδόσεις από ένα επενδυτικό σχέδιο και όχι οι μέση φορολογική επιβάρυνση από τις επενδύσεις. Σε μια ατελή αγορά κεφαλαίου παρόλα αυτά, δεν αρκεί οι επιχειρήσεις να εστιάζονται μόνο στο κόστος της χρηματοδότησης, όπως αυτό καθορίζεται στις αγορές. Σε αυτή την περίπτωση, οι αποφάσεις για επενδύσεις επηρεάζονται από τον μέσο φορολογικό συντελεστή που επιβαρύνει τις αποδόσεις από τα επενδυτικά σχέδια όσο και από τις επιβαρύνσεις από τον οριακό φορολογικό συντελεστή.

## **6.1.9. Η αρχή του επιταχυντή επενδύσεων**

Υπόθετουμε πως σε μια οικονομία υπάρχει ορισμένη σχέση μεταξύ του προϊόντος και του κεφαλαίου που απαιτείται για τη δημιουργία του:  $\mu = \frac{K}{Y}$ , λόγος κεφαλαίου-προϊόντος. Την περίοδο  $t$ :  $K_t = \mu \cdot Y_t$  και την περίοδο:  $t + 1$ :  $K_{t+1} = \mu \cdot Y_t + 1$ , η αύξηση του κεφαλαίου που απαιτείται για την παραγωγή προϊόντος είναι:  $K_{t+1} - K_t = \mu \cdot Y_{t+1} - \mu \cdot Y_t = \mu \cdot (Y_{t+1} - Y_t)$  ή  $I_{t+1} = \mu \cdot (Y_{t+1} - Y_t)$ . Δηλαδή, η απαιτούμενη αύξηση του κεφαλαίου ισούται με την καθαρή επένδυση που πρέπει να πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο  $t + 1$  για την παραγωγή προϊόντος  $Y$ . Μια ορισμένη αύξηση του προϊόντος δημιουργεί πολλαπλάσια αύξηση της καθαρής επένδυσης. Η σχέση μεταξύ της μεταβολής του προϊόντος και της αναγκαίας μεταβολής για τη σχετική προσαρμογή του αποθέματος ονομάζεται αρχή της

επιτάχυνσης. Για να μη μειωθούν οι επενδύσεις σε μια οικονομία, θα πρέπει να εξακολουθεί να αυξάνει η δραστηριότητά της.

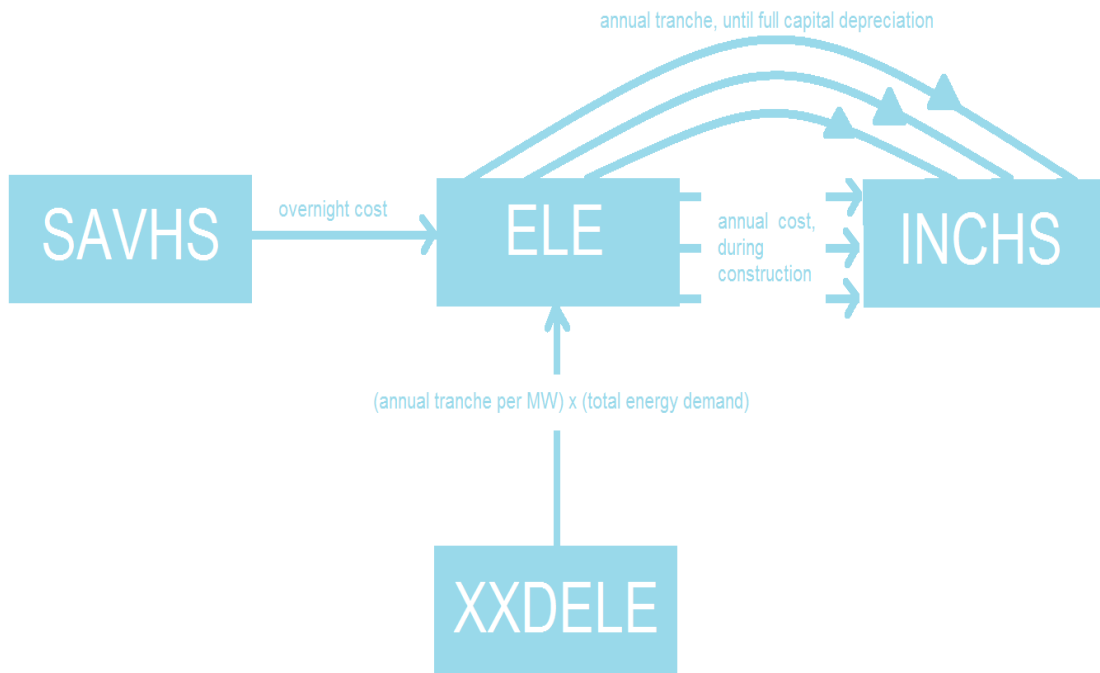
## 6.2. Ανάλυση μηχανισμού

Σημαντικό μέρος για τη λήψη απόφασης ως προς την επένδυση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν και οι συνθήκες αποπληρωμής του κόστους κατασκευής της μονάδας. Στο υπόδειγμα, όπως και στη πραγματικότητα, ο παραγωγός ο οποίος θα πάρει απόφαση για επένδυση, οφείλει να αποπληρώσει το κόστος κατασκευής ανά MW άμεσα, δηλαδή κατά τη διάρκεια κατασκευής της μονάδας και όχι αργότερα. Το κόστος αυτό συνίσταται από:

- Μισθούς ανειδίκευτων εργατών (unskilled labor)
- Μισθούς ειδικών ομάδων εργαζομένων (μηχανικοί κλπ)
- Πρώτες ύλες για τη κατασκευή της μονάδας
- Μεταφορά των πρώτων υλών

Συνεπώς ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής χρειάζεται να δανειστεί ένα ποσό ίσο με το κόστος της κατασκευής ώστε να πραγματοποιήσει την επένδυση. Το κόστος αυτό διαφέρει ανά τεχνολογία, οπότε πρέπει να υπολογιστεί το μοναδιαίο κόστος κατασκευής (ανά MW) για κάθε διαφορετικό *tec*. Το συνολικό κόστος προκύπτει από το πολλαπλασιασμό του μοναδιαίου κόστους με το συνολικό επίπεδο ισχύος που θα κατασκευαστεί. Καθώς το σύνολο των χρημάτων για την επένδυση προέρχεται από τις αποταμιεύσεις της οικονομίας, η πηγή δανεισμού της ηλεκτροπαραγωγής θα είναι ο λογαριασμός αποταμιεύσεων. Από τη στιγμή που κατασκευαστεί η μονάδα, ο τομέας ηλεκτρισμού θα έχει πληρώσει στα νοικοκυριά το συνολικό κόστος της, διότι κάθε αμοιβή καταλήγει να προστίθεται στο εισόδημα των νοικοκυριών, μιας και ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων είναι οι ίδιοι οι καταναλωτές.

Με τη σειρά του, ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής οφείλει να αποπληρώσει το δανεισμό του, πίσω στις αποταμιεύσεις. Ο μηχανισμός αποπληρωμής ορίζεται από μια ράντα του συνολικού κόστους, συν τους τόκους που προκύπτουν από το επιτόκιο δανεισμού, στα έτη που μεσολαβούν από τη κατασκευή της μονάδας μέχρι τη πλήρη απόσβεσή της. Για να εξασφαλίσει το ετήσιο κόστος αποπληρωμής, ο τομέας ηλεκτρισμού επιβαρύνει τη μοναδιαία (ανά KWh) μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά το συνολικό ετήσιο ποσό διαιρεμένο με τη συνολική ενέργεια που ζητείται από το σύνολο της οικονομίας. Τέλος, το ποσό αυτό θα αποπληρωθεί πίσω στους δανειστές, δηλαδή στα νοικοκυριά. Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία:



### ΣΧΗΜΑ 3: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο υπόδειγμα, η παραπάνω διαδικασία μοντελοποιείται μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

Τομέας Ηλεκτροπαραγωγής

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

Δείκτης που σχετίζεται με το οριακό κόστος κατασκευής νέων εργοστασίων (6.1)

$$cINVT_{tec,vtime,t} = \frac{pINVT_{tec,t}}{\left[ \frac{(1 + rltlr_t)^{constime_{tec}} - 1}{rltlr_t \cdot (1 + rltlr_t)^{constime_{tec}}} \right]}$$

Δείκτης που σχετίζεται με την ετήσια πληρωμή κατά τη διάρκεια κατασκευής μιας μονάδας (6.2)

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

**Ράντα ετήσιας  
πληρωμής ανά  
μονάδα ισχύος  
(6.3)**

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

**Τιμή κλάδου  
Ηλεκτροπαραγωγής  
(Η.Π.)  
(6.4)**

### Νοικοκυριά

Ο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής αντιλαμβάνεται την επένδυση στον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των χρημάτων που δανείζει σε αυτόν, μέσω των τόκων που εισπράτει από αυτόν και μέσω της προσαυξημένης τιμής της ενέργειας που καλείται να πληρώσει.



$$\begin{aligned}
INCHS_t = & \sum_{pr} pK_t \cdot KAV_{pr,t} + pL_t \cdot LAV_{pr,t} + pRS_{pr,t} \\
& \cdot RESC_{pr,t} + KAVTBU_{ele,t} \\
& + \sum_{tec,v} cINVT_{tec,v,t} \cdot KAVCT_{tec,v} \\
& - \sum_{tec} \left( pINVT_{tec,t} \cdot \sum_{v(v=t)} KAVCT_{tec,v} \right)
\end{aligned}$$

**Εισόδημα  
νοικοκυριών  
(3.60)**

# 7

## *Τιμολόγηση Ramsey*

### 7.1. Εισαγωγή στη διακριτή τιμολόγηση

Στη περίπτωση που εξετάζεται ένα φυσικό μονοπώλιο και δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο όριο στις ζημιές που μπορούν να προκληθούν από μια μη βέλτιστη τιμολόγηση, τότε το κοινωνικά άριστο μπορεί να επιτευχθεί από την επιβολή τιμής η οποία θα ισούται του οριακού κόστους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε προϊόν θα έπρεπε να οριστεί τιμή  $P = MC$ . Από το γεγονός όμως πως αυτές οι ζημιές θα πρέπει να καλυφθούν από τον ρυθμιστή για παράδειγμα σε μορφή επιδότησης προκύπτει το ερώτημα πώς πρέπει να τιμολογήσει ο μονοπωλητής που προσφέρει παραπάνω από ένα αγαθά έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας υπό την προϋπόθεση η επιχείρηση να μη σημειώνει ζημιές. Την απάντηση σε αυτό το ερώτημα προσφέρει η τιμολόγηση κατά Ramsey.

Το πρόβλημα που καλείται να λύσει η συγκεκριμένη ρυθμιστική πολιτική παρουσιάζει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Η μοναδική μορφή τιμολόγησης που είναι αποδεκτή είναι αυτή της ενιαίας τιμής (γραμμική τιμολόγηση). Αυτό σημαίνει πως όλοι οι καταναλωτές που αποκτούν το προϊόν μετά τη συναλλαγή καλούνται να καταβάλουν το ίδιο αντίτιμο. Συνεπώς ο παραγωγός καλείται να καλύψει στο σύνολο της τη ζήτηση στην περίπτωση που αγοραστής έχει τη δυνατότητα να πληρώσει τη προτεινόμενη τιμή.
- Τα αγαθά προσφέρονται στην αγορά από μία και μόνο επιχείρηση.
- Η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας γίνεται υπό την προϋπόθεση η επιχείρηση να μη παρουσιάζει συνολική ζημία, όπου στη περίπτωση μας είναι μηδενικά κέρδη.

- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν κανενός άλλου είδους πληρωμές από τη μεριά των καταναλωτών προς την επιχείρηση, όπως διπλή ταρίφα, πέρα από το αρχικό ποσό που καταβάλουν.

Βασικό ακόμη χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μορφής τιμολόγησης είναι το γεγονός ότι η υπερτιμολόγηση (mark-up) κάθε εμπορεύματος είναι επίσης αντιστρόφως ανάλογη με τις ελαστικότητες της ζήτησης, αλλά είναι μικρότερη καθώς η αντίστροφη ελαστικότητα της ζήτησης πολλαπλασιάζεται με μια σταθερά μικρότερη της μονάδας.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί επίσης πως το μοντέλο τιμολόγησης κατά Ramsey περιλαμβάνει διάκριση τιμών τρίτου βαθμού. Η διάκριση τρίτου βαθμού χρησιμοποιείται έτσι ώστε κάθε καταναλωτική ομάδα η οποία κατηγοριοποιείται βάση ορισμένων χαρακτηριστικών όπως φύλο, ηλικία ή τοποθεσία να χρεώνεται μία διαφορετική τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον καθορισμό αντιτίμου το οποίο είναι μεγαλύτερο του οριακού κόστους αλλά όχι τόσο όσο θα όριζε το μονοπώλιο εάν είχε την επιλογή να θέσει μόνο του τις τιμές κάνοντας διάκριση τρίτου βαθμού.

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα χρήσης ενός τέτοιου μοντέλου τιμολόγησης. Έστω λοιπόν ότι έχουμε τα προϊόντα  $q_1$  και  $q_2$  τα οποία είναι ίδια, καταναλώνονται όμως από ομάδες οι οποίες διαφέρουν στην ελαστικότητα ζήτησης τους (νοικοκυριά και βιομηχανίες στη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος). Ακόμη υποθέτουμε πως δεν είναι δυνατή η μεταπώληση μεταξύ των χρηστών έτσι ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα εξομάλυνσης των διαφορών στο αντίτιμο που καλούνται να καταβάλουν. Σε μια τέτοια περίπτωση λοιπόν η ομάδα με τη μικρότερη ελαστικότητα ζήτησης θα κληθεί να καταβάλει μεγαλύτερο αντίτιμο για την απόκτηση του προϊόντος παρά το γεγονός ότι τόσο το προϊόν όσο και το οριακό κόστος παραγωγής του παραμένει ίδιο για την επιχείρηση. Η δομή λοιπόν του μοντέλου τιμολόγησης κατά Ramsey από τη μεριά του ρυθμιστή είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που θα ακολουθούσε ένας μονοπωλητής σε περίπτωση που θα μπορούσε να καθορίσει χωρίς παρέμβαση τη τιμή που θα μεγιστοποιούσε τη συνάρτηση κερδών του.

Η τιμολόγηση η οποία εφαρμόζεται, είναι τέτοια ώστε η διαφορά της τιμής του προϊόντος από το οριακό του κόστος να είναι αντιστρόφως ανάλογη της ελαστικότητας ζήτησης που συναντάται στην αγορά. Το περιθώριο κέρδους συνεπώς είναι μεγαλύτερο για αγαθά και καταναλωτές που χαρακτηρίζονται από μικρότερη ελαστικότητα ζήτησης σε αντίθεση με αγαθά και καταναλωτές που χαρακτηρίζονται από μια μεγαλύτερη ελαστικότητα ζήτησης (στις τιμές ισορροπίας). Σημαντικό επίσης είναι να παρατηρήσουμε πως σε περίπτωση που τα αγαθά έχουν αλληλεπίδραση μεταξύ τους, δηλαδή υποκατάστατα ή συμπληρωματικά, η ελαστικότητα ζήτησης θα πρέπει να αντικατασταθεί από σταυροειδής ελαστικότητες οι οποίες θα ελέγχουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τιμών (cross price effects) όπως και την ελαστικότητα ζήτησης ως προς το ένα προϊόν. Εάν πρόκειται για υποκατάστατα αγαθά, οι τιμές κατά Ramsey είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την περίπτωση που δεν εξεταζόταν ή δεν υπήρχε ενημέρωση περί της αλληλεξάρτησης καθώς προκύπτει πως η σταυροειδής ελαστικότητα έχει μικρότερη τιμή από την ελαστικότητα ζήτησης.

Μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας τιμολόγησης το σύστημα καταλήγει σε μια δευτερεύουσα άριστη λύση (second best equilibrium) σε σχέση με αυτή που θα επιτύχανε εάν βρισκόταν σε μια κατάσταση τέλει ανταγωνισμού. Παρ'όλα αυτά, συχνά ασκείται κριτική στη τιμολόγηση Ramsey στα εξής σημεία:

- Όπως γίνεται κατανοητό και από την παραπάνω ανάλυση, η χρήση και εφαρμογή του συγκεκριμένου κανόνα στην πράξη δεν μπορεί να είναι τόσο ακριβής όσο και ιδιαίτερα συχνή. Αυτό συμβαίνει διότι οι πληροφορίες που απαιτούνται ακόμη και αν εξαιρεθεί η περίπτωση της σταυροειδούς ελαστικότητας είναι σχεδόν μη ρεαλιστικές για μια πραγματική αγορά καθώς απαιτείται λεπτομερής πληροφόρηση τόσο για την καμπύλη ζήτησης όσο και για τη συνάρτηση κόστους.
- Όταν πρόκειται για ρυθμιστική πολιτική η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο πλευρών, ρυθμιστή και ρυθμιζόμενου, είναι αναπόφευκτη, πόσο μάλλον στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου είναι εξαρχής γνωστό πως θα υπάρξουν μεταβιβαστικές πληρωμές από το κράτος-ρυθμιστή στην προσπάθεια επίτευξης της τιμής ισορροπίας. Δεν είναι σπάνιο λοιπόν να εμφανίζονται στρεβλώσεις οι οποίες όταν γίνεται μια απλουστευμένη μοντελοποίηση και ανάλυση του προβλήματος να μη λαμβάνονται υπόψη.

Στη περίπτωση όμως που προσφέρεται η δυνατότητα να αναγνωριστούν αυτές τις ατέλειες καθ' όλα τα στάδια της ρύθμισης, τότε η τιμολόγηση Ramsey συνιστά έναν αποτελεσματικό και χρηστικό τρόπο συμπεριφοράς ενός ρυθμιστή.

## 7.2. Υπολογισμός της τιμής Ramsey

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένα κοινωνικό μονοπώλιο έχει ως αντικειμενικές συναρτήσεις τη κάλυψη του συνόλου της ζήτησης για το αγαθό που παρέχει και να πετύχει τιμολόγηση τέτοια ώστε να επιτυγχάνει ένα προκαθορισμένο κέρδος (συνήθως μηδενικό ή ακόμη και ζημία) μεγιστοποιώντας το κοινωνικό πλεόνασμα. Στο υπόδειγμα προσφέρονται στους καταναλωτές τρία διαφορετικά επίπεδα τάσης στα οποία μπορούν να συνδεθούν, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες τους. Συνεπώς το σύνολο της κατανάλωσης κατανέμεται σε τρεις κατηγορίες, την υψηλή, τη μέση και τη χαμηλή τάση.

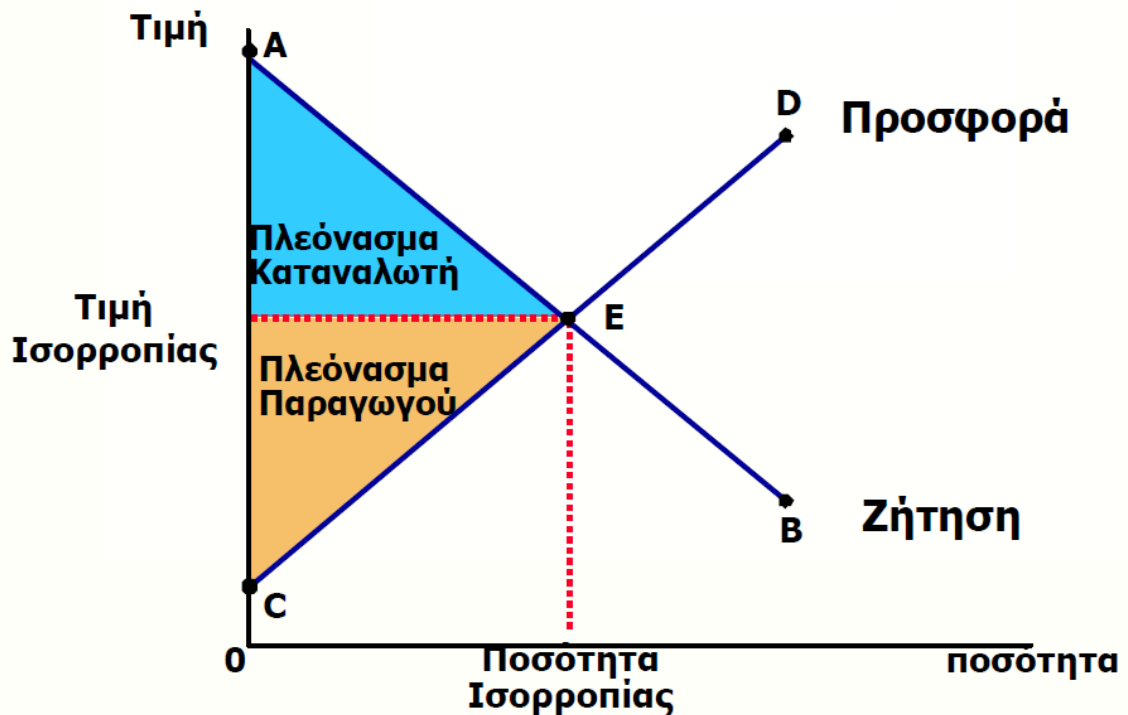
Σύμφωνα με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission, IEC 60038), τα επίπεδα τάσης καθορίζονται ως εξής:

- Χαμηλή τάση: έως 1kV
- Μέση τάση: από 1kV έως 35kV
- Υψηλή τάση: πάνω από 35kV

Εύλογα, κάθε επίπεδο προσελκύει διαφορετικές ομάδες καταναλωτών, ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που χρειάζονται. Έτσι, στη χαμηλή τάση συνδέονται τα νοικοκυριά και οι επιχειρήσεις οι οποίες δε βασίζονται στα αγαθά που προσφέρουν στην ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή τη χρησιμοποιούν για τη κάλυψη των καθημερινών αναγκών τους, όπως φωτισμός, θέρμανση, λειτουργία μικροσυσκευών. Στη μέση τάση συνδέονται επιχειρήσεις με μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες, οι οποίες ως εισροές στη συνάρτηση παραγωγής τους χρησιμοποιούν μεγαλύτερα ηλεκτρικά εργαλεία (συμπιεστές, εκσκαφείς και λοιπά) καθώς και κέντρα διαχείρισης δεδομένων (data centers). Τέλος, στην υψηλή τάση συνδέονται οι βαριές βιομηχανίες, όπως μονάδες παραγωγής χάλυβα, εργοστασιακές μονάδες παραγωγής σκυροδέματος και άλλες, των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα. Ο τομέας ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη κατασκευή και τη συντήρηση του κατάλληλου εξοπλισμού, ώστε να υφίστανται τα τρία επίπεδα τάσης, είναι ο τομέας μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, transfer and distribution, ο οποίος υπόκειται στο τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Σε αυτό το σημείο εισέρχεται η τιμολόγηση Ramsey. Όπως αποδεικνύεται και στο Παράρτημα, το κοινωνικό πλεόνασμα μεγιστοποιείται τιμολογώντας αντιστρόφως ανάλογα της ελαστικότητας ζήτησης του καταναλωτή. Αυτό συμβαίνει καθώς αν η επιβάρυνση εφαρμοστεί καθολικά και ομοιόμορφα στους καταναλωτές, κάποιοι από αυτούς θα θεωρήσουν την αύξηση της τιμής αρκούντως μεγάλη, ώστε να σταματήσουν να καταναλώνουν το αγαθό και να στραφούν προς κάποιο υποκατάστατο ή να μη τους επιτρέψει ο εισοδηματικός τους περιορισμός να το καταναλώσουν. Αυτό συνεπάγεται απώλεια ευημερίας, καθώς όπως αποδεικνύει ο Ramsey υπάρχει ένας διαφορετικός τρόπος τιμολόγησης ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των καταναλωτών που αλλάζουν τις συνήθειές τους λόγω της αύξησης της τιμής, συνεπώς να ελαχιστοποιηθεί και η απώλεια κοινωνικής ευημερίας. Αν εντούτοις με κάποιο τρόπο, τιμολογηθούν αναλογικά περισσότερο οι ανελαστικοί καταναλωτές και λιγότερο οι ελαστικοί τότε ο αριθμός των καταναλωτών που θα αποσυρθούν από τη κατανάλωση του συγκεκριμένου αγαθού θα είναι λιγότεροι από προηγούμενως. Το παραπάνω συμβαίνει επειδή ένας ανελαστικός καταναλωτής, λόγω της δυσκολίας υποκατάστασης του αγαθού, μπορεί να ανταπεξέλθει σε μια μεγαλύτερη αύξηση της τιμής, η ανελαστικότητά του τον εμποδίζει να υποκαταστήσει το αγαθό. Εν αντιθέσει, ένας καταναλωτής με μεγαλύτερη ελαστικότητα ζήτησης, δηλαδή μεγαλύτερη ευκολία υποκατάστασης του αγαθού, θα αντιμετωπίσει μια μικρότερη αύξηση της τιμής, την οποία ενδεχομένως δύναται να απορροφήσει. Οι παραπάνω ισχυρισμοί μένει να θεμελιωθούν και τυπικά.

Το κοινωνικό πλεόνασμα αναπαριστάται στη παρακάτω γραφική παράσταση:



**ΣΧΗΜΑ 4: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ**

Το συνολικό πλεόνασμα της κοινωνίας προκύπτει από το άθροισμα των πλεονασμάτων παραγωγού και καταναλωτή.

Δίνεται μια αντίστροφη συνάρτηση ζήτησης  $p(q)$ , όπου με  $q$  συμβολίζεται η ποσότητα ζήτησης του αγαθού. Επιπλέον δίνεται και η συνάρτηση κόστους του παραγωγού, έστω  $C(q)$ . Να τονιστεί πως επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση υφίσταται μονοπώλιο, ο παραγωγός δύναται να προσαρμόσει τη τιμή στο επίπεδο που επιθυμεί και ως αποτέλεσμα θα προκύψει η συνολική προσφορά του. Υποθέτοντας σημείο ισορροπίας της αγοράς:  $(p(q'), q')$ , τα αντίστοιχα πλεονάσματα προκύπτουν:

$$Consumer's\ Surplus(q') = \int_0^{q'} p(q) dq - p(q') \cdot q'$$

$$Producer's\ Surplus(q') = p(q') \cdot q' - C(q')$$

Το συνολικό πλεόνασμα ισούται με το άθροισμα των δύο παραπάνω:

$$\begin{aligned} \text{Total Surplus}(q') &= \text{Consumer's Surplus}(q') + \text{Producer's Surplus}(q') \\ &= \int_0^{q'} p(q) dq - C(q') \end{aligned}$$

Συνεπώς ο μονοπωλητής επιλύει το εξής πρόβλημα βελτιστοποίησης:

$$\max_{q'} \text{Total Surplus}(q')$$

s. t.

$$R(q') - C(q') = \pi^*$$

Όπου:

$R(q') = q' \cdot p(q')$ : έσοδα του μονοπωλητή

$\pi^*$ : παράμετρος η οποία εκφράζει το κέρδος που επιθυμεί το μονοπώλιο, εξωγενώς ορισμένη

Υπολογίζοντας την εξίσωση Lagrange και με την υπόθεση ότι η συνάρτηση του συνολικού πλεονάσματος είναι quasi-concave, οι συνθήκες πρώτης τάξης υποδεικνύουν το σημείο - ισορροπία αριστοποίησης  $(p(q^*), q^*)$ . Η σχέση που προκύπτει είναι:

$$\frac{p(q^*) - MC(q^*)}{p(q^*)} = \frac{\lambda^*}{|\varepsilon|}$$

Όπου ως  $MC(q^*)$  συμβολίζεται το οριακό κόστος του παραγωγού στο σημείο ισορροπίας, το οποίο ισούται με τη τιμή της  $\frac{\partial C(q)}{\partial q}$  στο  $q^*$  και ως  $\lambda^*$  τη τιμή του συντελεστή Lagrange στο σημείο βελτιστοποίησης.

Με  $\varepsilon$  συμβολίζεται η ελαστικότητα ζήτησης του καταναλωτή, η οποία δίνεται από τη σχέση  $\varepsilon = \frac{\partial q}{\partial p} \cdot \frac{p}{q}$  υπολογισμένη στο σημείο ισορροπίας.

Ταυτόχρονα πρέπει να ισχύει και ο περιορισμός του προβλήματος:

$$R(q^*) - C(q^*) = \pi^*$$

Απο την επίλυση του παραπάνω 2x2 συστήματος, προκύπτουν οι τιμές του πολλαπλασιαστή Lagrange  $\lambda^*$  και η τιμή πώλησης του αγαθού. Να τονιστεί πως το αποτέλεσμα συμφωνεί με την αρχική εικασία, η αύξηση της τιμής ως προς το οριακό κόστος (mark-up) είναι αντιστρόφως ανάλογη της ελαστικότητας ζήτησης. Στο εξής κάθε αναφορά στη τιμή-λύση του παραπάνω προβλήματος θα γίνεται με τον όρο «τιμή Ramsey».

### 7.3. Εφαρμογή στην ηλεκτροπαραγωγή

Στο υπόδειγμα, όπως αναφέρθηκε, ο διαχειριστής τιμολογεί τρία αγαθά μέσω τιμολόγησης Ramsey, τις τρεις διαφορετικές ζώνες τάσης. Ο στόχος του είναι να υπολογίσει τρεις διαφορετικές τιμές, μια για κάθε ζώνη. Συνεπώς αρχικά πρέπει η παραγωγή του τομέα μεταφοράς και διανομής να επιμεριστεί ανά ζώνη τάσης και ανά προφίλ καταναλωτή. Έπειτα επιλύεται το σύστημα της προηγούμενης ενότητας ώστε να προκύψουν οι τιμές Ramsey και τέλος διαμορφώνεται η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη τιμή παραγωγής, η οποία έχει υπολογιστεί όπως παρουσιάστηκε στο κεφ.6, και των τιμών Ramsey.

Οι εξισώσεις οι οποίες μοντελοποιούν τη παραπάνω διαδικασία έχουν ως εξής:

$$DIST.Se_{ele,tdpr,t} = DIST_{ele,t} \frac{XXDELE.PR_{tdpr}}{\sum_{tdpr} XXDELE.PR_{tdpr} + XXDELE.HSH, GOV, INV, EX}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D ανά προϊόν (7.1)**

$$DIST.Se_{ele,hsh,t} = DIST_{ele,t} \frac{XXDELE.HSH}{\sum_{tdpr} XXDELE.PR_{tdpr} + XXDELE.HSH, GOV, INV, EX}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D στα νοικοκυριά (7.2)**

$$DIST.Se_{ele,gov,t} = DIST_{ele,t} \frac{XXDELE.GOV}{\sum_{tdpr} XXDELE.PR_{tdpr} + XXDELE.HSH, GOV, INV, EX}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D στη κυβέρνηση (7.3)**

$$DIST.Se_{ele,inv,t} = DIST_{ele,t} \frac{XXDELE.INV}{\sum_{tdpr} XXDELE.PR_{tdpr} + XXDELE.HSH, GOV, INV, EX}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D στις επενδύσεις (7.4)**



$$DIST.Se_{ele,ex,t} = DIST_{ele,t} \cdot \frac{ELE.EXP}{\sum_{tdpr} XXDELE.PR_{tdpr} + XXDELE.HSH, GOV, INV, EX}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D στις εξαγωγές**  
(7.5)

$$DIST.Vol_{ele,se,vol,t} = pattern_{se,vol} \cdot DIST.Se_{ele,se,t}$$

**Επιμερισμός παραγωγής T&D σε ζώνες τάσης**  
(7.6)

$$\sum_{ele,vol} (pDIST.Ramsey_{ele,vol,t} \cdot \sum_{se} DIST.Vol_{ele,se,vol,t}) \cdot (1 - profitrate_t) = \sum_{ele} pDIST_{ele,t} \cdot DIST_{ele,t}$$

**Εισοδηματικός περιορισμός του τομέα T&D**  
(7.7)

$$pDIST.Ramsey_{ele,vol,t} \cdot (elastDist_{vol,t} + (elastDist_{vol,t} - 1) \cdot Lamda_t) = pDIST_{ele,t} \cdot (1 + Lamda_t \cdot elastDist_{vol,t})$$

**Υπολογισμός της τιμής Ramsey μέσω του mark-up**  
(7.8)

$$PD_{ele,t} = \frac{1}{TFP_t} \cdot \left( theta.ds_{sup}_{ele} \cdot pSUPBU_{ele} + theta.ddist_{ele} \cdot \frac{\sum_{vol,se} pDIST.Ramsey_{ele,vol,t} \cdot DIST.Vol_{ele,se,vol,t}}{\sum_{vol,se} DIST.Vol_{ele,se,vol,t}} \right)$$

**Μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας**  
(7.9)

• Μεταβλητές:

$pDIST.Ramsey_{ele,vol,t}$  : Τιμή ανά ζώνη τάσης (τιμή Ramsey)

$Lamda_t$  : Πολλαπλασιαστής Lagrange, δυική τιμή εισοδηματικού περιορισμού

$DIST.Se_{ele,se,t}$  : Η παραγωγή του τομέα μεταφοράς και διανομής ανά καταναλωτή

$DIST.Vol_{ele,se,vol,t}$  : Η παραγωγή του τομέα μεταφοράς και διανομής ανά καταναλωτή και ζώνη τάσης

$pDIST_{ele,t}$  : Το οριακό κόστος του τομέα μεταφοράς και διανομής πριν τη τιμολόγηση Ramsey

$DIST_{ele,t}$  : Η συνολική παραγωγή του τομέα μεταφοράς και διανομής πριν τη τιμολόγηση Ramsey

$TFP_t$  : Τεχνολογικός δείκτης παραγωγικότητας

$PD_{ele,t}$  : Η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μετά από τη τιμολόγηση Ramsey του τομέα μεταφοράς και διανομής

- Παράμετροι

$pattern_{se,vol}$  : Προφίλ κάθε καταναλωτή ως προς τη ζώνη τάσης

$profitrate_t$  : Επιθυμητό ποσοστό κέρδους του μονοπωλίου, μηδέν στο υπόδειγμα

$elastDist_{vol,t}$  : Ελαστικότητα ζήτησης ανά ζώνη τάσης

$theta.ds_{ele}$  : Μερίδιο τομέα παραγωγής στον ηλεκτρισμό

$theta.ddist_{ele}$  : Μερίδιο τομέα μεταφοράς και διανομής στον ηλεκτρισμό

Εκ κατασκευής της, η τιμολόγηση Ramsey, ενώ επιτυγχάνει το επίπεδο μέγιστης ευημερίας, επιβαρύνει τους ανελαστικούς καταναλωτές οι οποίοι στο συγκεκριμένο υπόδειγμα είναι εκείνοι που έχουν συνδεθεί στη χαμηλή τάση, δηλαδή τα νοικοκυριά ως επί το πλείστον. Συνεπώς προκύπτει το ερώτημα κατά πόσο θα είναι κοινωνικά βιώσιμη ενός τέτοιου είδους πολιτική, η οποία επιβαρύνει τους καταναλωτές με μικρή δυνατότητα υποκατάστασης. Με άλλα λόγια, το κοινωνικό μονοπώλιο οφείλει να υπολογίσει το πολιτικό κόστος μιας τέτοιας απόφασης στα νοικοκυριά, από τα οποία αποτελείται η κοινωνία στο σύνολό της.

# 8

## *Αριθμητική εφαρμογή – Αποτελέσματα σεναρίων*

### **8.1. Σενάριο αναφοράς**

Στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο εφαρμόζοντας ένα σενάριο αναφοράς, το οποίο θα λειτουργήσει ως σημείο μέτρησης για τα υπόλοιπα δύο. Στο σενάριο αναφοράς εφαρμόζεται με μετριοπαθής πολιτική φορολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, CO<sub>2</sub>, με τα έσοδα του φόρου να διανέμονται για την ελάφρυνση των εργοδοτικών εισφορών.

Συνεπώς οι επιπλέον εξισώσεις που ενεργοποιούνται στο υπόδειγμα όταν τρέχει το σενάριο αναφοράς είναι οι εξής:

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

**Κλείσιμο των  
εσόδων με την  
ελάφρυνση των  
εισφορών  
(9.1.)**

$$\begin{aligned}
EMCO2IOV_{pr,br,t} &= IOV_{pr,br,t} \cdot emfCO2_{pr} \\
&\perp EMCO2IOV_{pr,br,t}
\end{aligned}$$

**Εκπομπές CO<sub>2</sub> από  
τους παραγωγούς  
(9.2)**

$$\begin{aligned}
EMCO2IOVTBU_{pr,ele,t} &= IOVTBU_{pr,ele,t} \cdot emfCO2_{pr} \\
&\perp EMCO2IOVTBU_{pr,br,t}
\end{aligned}$$

**Εκπομπές CO<sub>2</sub> από  
το τομέα  
ηλεκτροπαραγωγής  
(9.3)**

$$EMCO2HCV_{pr,t} = HCV_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2HCV_{pr,t}$$

**Εκπομπές CO<sub>2</sub> από  
τα νοικοκυριά  
(9.4)**

$$EMCO2GCV_{pr,t} = GCV_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \perp EMCO2GCV_{pr,t}$$

**Εκπομπές CO<sub>2</sub> από  
τη κυβέρνηση  
(9.5)**

$$\begin{aligned}
EMCO2INVD_{pr,t} &= INVD_{pr,t} \cdot emfCO2_{pr} \\
&\perp EMCO2INVD_{pr,t}
\end{aligned}$$

**Εκπομπές CO<sub>2</sub> από  
τις επενδύσεις  
(9.6)**

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

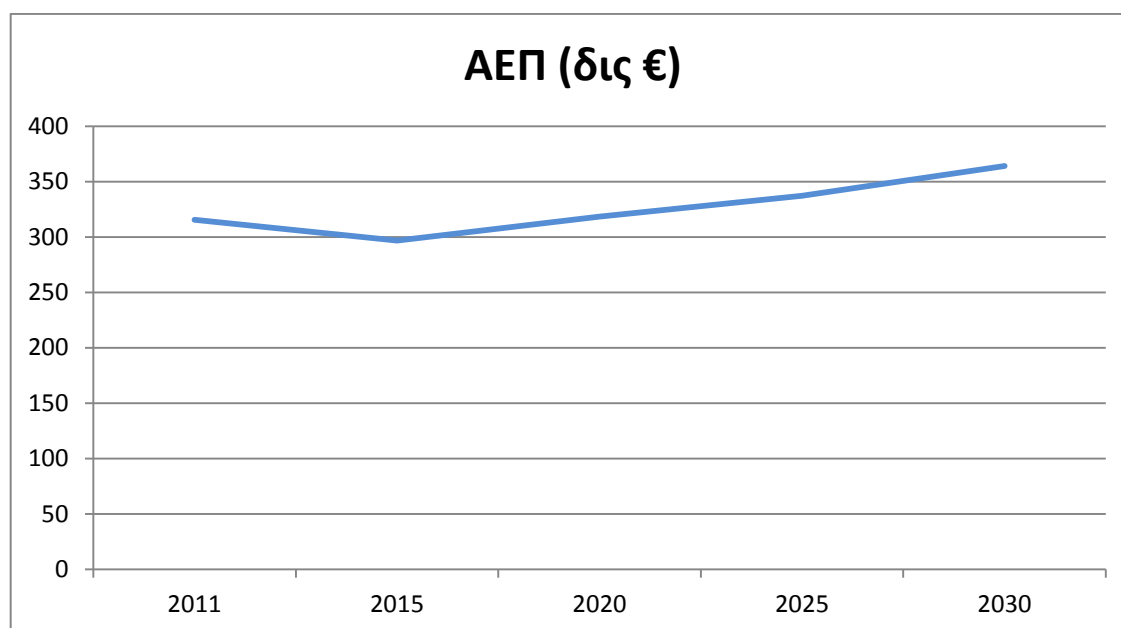
**Συνολικές  
εκπομπές CO<sub>2</sub>  
(9.7)**

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>txcarbf (€2011/Mtn)</b>	0	5	7	10	15	30	40	50	60
<b>TXL(€2011/h)</b>	0	0.007	0.009	0.013	0.0175				

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

### 8.1.1 Μακροοικονομικά μεγέθη

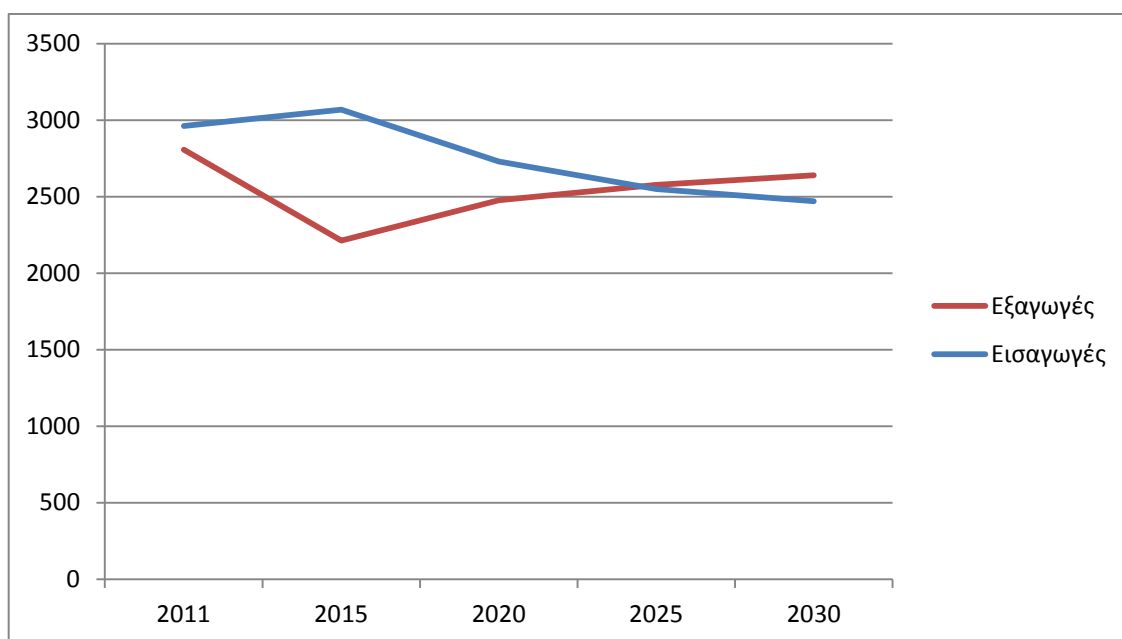
Αρχικά θα παρασταθούν τα αποτελέσματα του σεναρίου αναφοράς στα βασικά μακροοικονομικά μεγέθη και έπειτα στην ηλεκτροπαραγωγή.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 : ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>ΑΕΠ (δισ €)</b>	315.43	296.62	318.34	337.29	364.11

Όσον αφορά το εμπορικό ισοζύγιο, η αλλαγή του μείγματος παραγωγής ως αποτέλεσμα της εισαγωγής ΑΠΕ, προκαλεί μείωση της μέσης τιμής της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο εγχώριοι παραγωγοί γίνονται πιο ανταγωνιστικοί σε σχέση με εκείνους του εξωτερικού καθώς γίνεται η υπόθεση πως στο εξωτερικό δεν έχει εφαρμοστεί πολιτική φορολόγησης εκπομπών. Το τελευταίο απεικονίζεται και στο παρακάτω διάγραμμα καθώς μετά το 2025 οι εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας ξεπερνούν τις εισαγωγές και καθιστούν το ισοζύγιο θετικό.

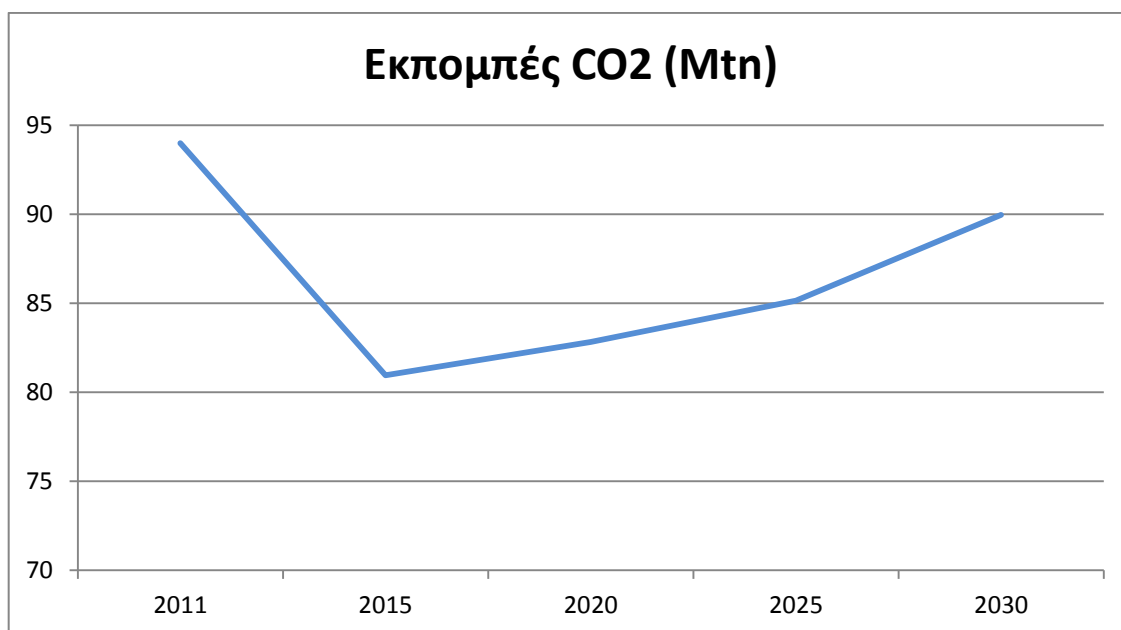


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWh), ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

	<i>2011</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2025</i>	<i>2030</i>
<b>Εξαγωγές (GWh)</b>	2806.61	2212.93	2476.83	2576.12	2640.20
<b>Εισαγωγές (GWh)</b>	2960.98	3068.62	2730.33	2549.27	2469.26

### 8.1.2 Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής

Όσον αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων, παρατηρούνται τα εξής:

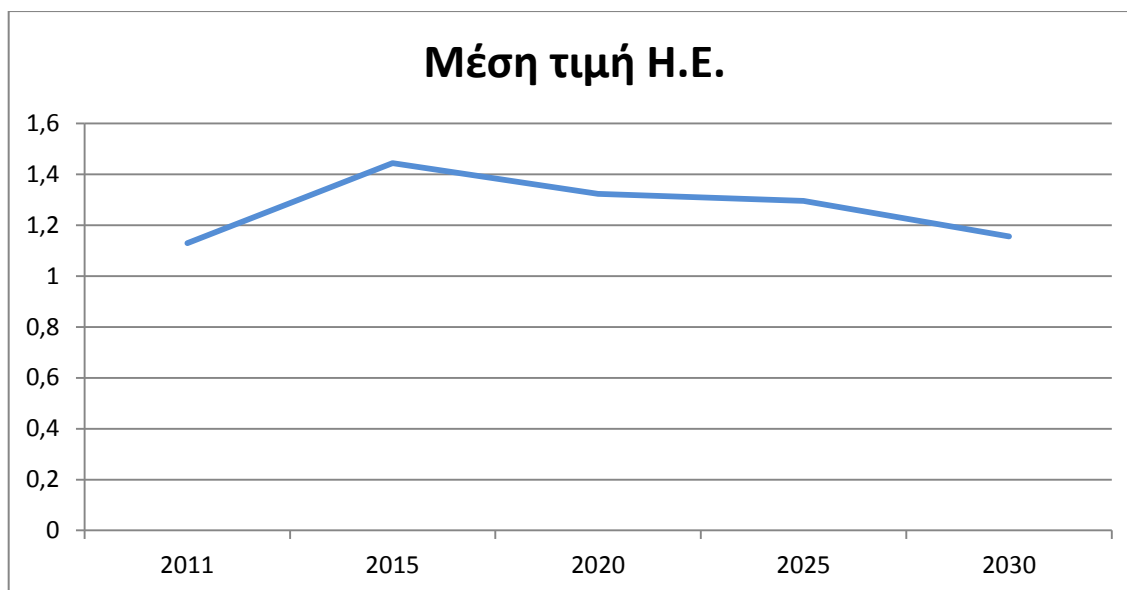


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub></b>	93.99213	80.95561	83.64318	85.99064	91.35014

Εξαιτίας της επιβολής φορολογίας στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, παρατηρείται μια απότομη μείωση των εκπομπών το 2015, καθώς πολλές θερμικές μονάδες έκριναν πως είναι ασύμφορο να λειτουργήσουν κάτω από το βάρος του φόρου, το οποίο ανέβασε το κόστος τους ανά μονάδα ενέργειας πάνω από τη τιμή της αγοράς. Στα επόμενα έτη, λόγω της αύξησης της ζήτησης οι εκπομπές έχουν ανοδική τάση. Η αύξηση της ζήτησης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση του πληθυσμού και στις αλλαγές στις συνήθειες των καταναλωτών.

Όσον αφορά τη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούνται τα εξής:



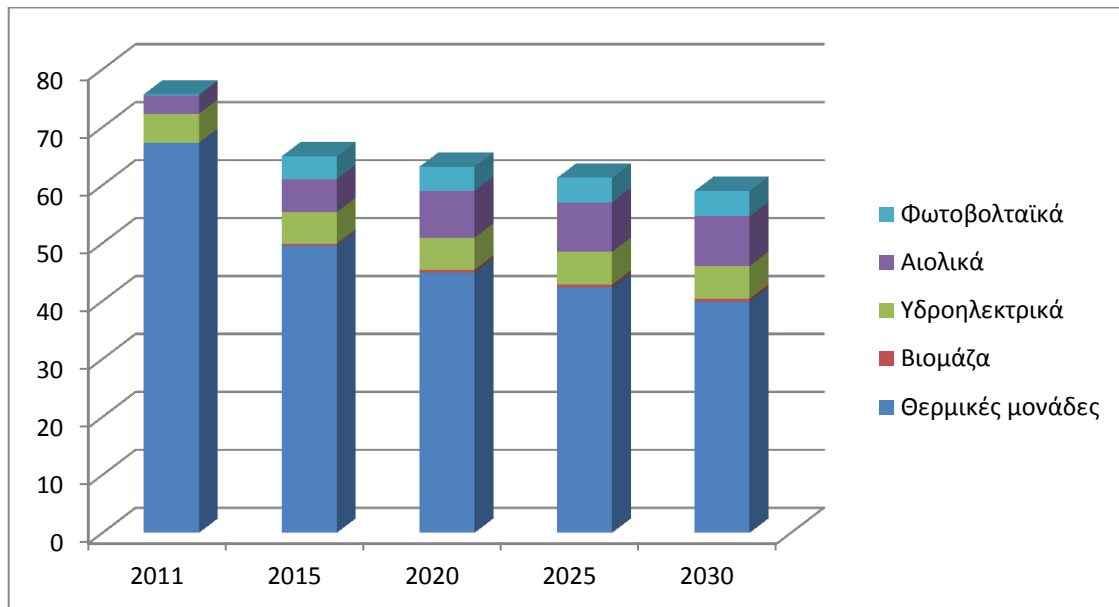
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Μέση τιμή Η.Ε.</b>	1.129192	1.444091	1.322434	1.294901	1.155999

Το έτος 2015 παρατηρείται μια απότομη αύξηση της τιμής, η οποία τείνει να εξαλειφθεί με τη πάροδο του χρόνου. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην απότομη επιβολή του φόρου στις εκπομπές. Κάποιες θερμικές μονάδες δε λειτούργησαν εκείνο το έτος και η τιμή αυξήθηκε ώστε να μειωθεί η ζήτηση και να εξισωθεί με τη μειωμένη προσφορά. Σε βάθος χρόνου όμως, η τιμή ισορροπίας επιστρέφει στα αρχικά της επίπεδα, καθώς το μείγμα παραγωγής διαμορφώνεται κατάλληλα. Αυτό δε μπορούσε να συμβεί το 2015, καθώς για να αλλάξει το μείγμα παραγωγής χρειάζεται τουλάχιστον μια περίοδο αναμονή, επειδή το κεφάλαιο αποτελεί state variable.



Όσον αφορά το μερίδιο κάθε τεχνολογίας στη παραγωγή ισχύος, παρατηρούνται τα εξής:



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Θερμικές μονάδες</b>	67.29819	49.61219	46.39393	43.66174	41.88593
<b>Βιομάζα</b>	0.00103	0.259489	0.259489	0.259489	0.259489
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	5.027201	5.469504	5.54338	5.717391	5.663922
<b>Αιολικά</b>	3.172933	5.706477	8.029204	8.482475	8.508088
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0.184718	3.925558	4.140499	4.228083	4.394159

Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, η παραγωγή των θερμικών μονάδων γνωρίζει απότομη μείωση το 2015. Το κενό αυτό, σπεύδουν να καλύψουν οι μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες πραγματοποιούν μεγάλης κλίμακας επενδύσεις, ιδιαίτερα στα Αιολικά και τα Φωτοβολταϊκά, καθώς οι επένδυση σε αυτές τις μονάδες είναι φθηνότερη σχετικά με τις υπόλοιπες ΑΠΕ και επιπλέον δεν επιβαρύνονται σχεδόν καθόλου από τη φορολογία στο διοξείδιο του άνθρακα.

## 8.2. Σενάριο 1: Αύξηση της φορολογίας στην εκπομπή αέριων ρύπων

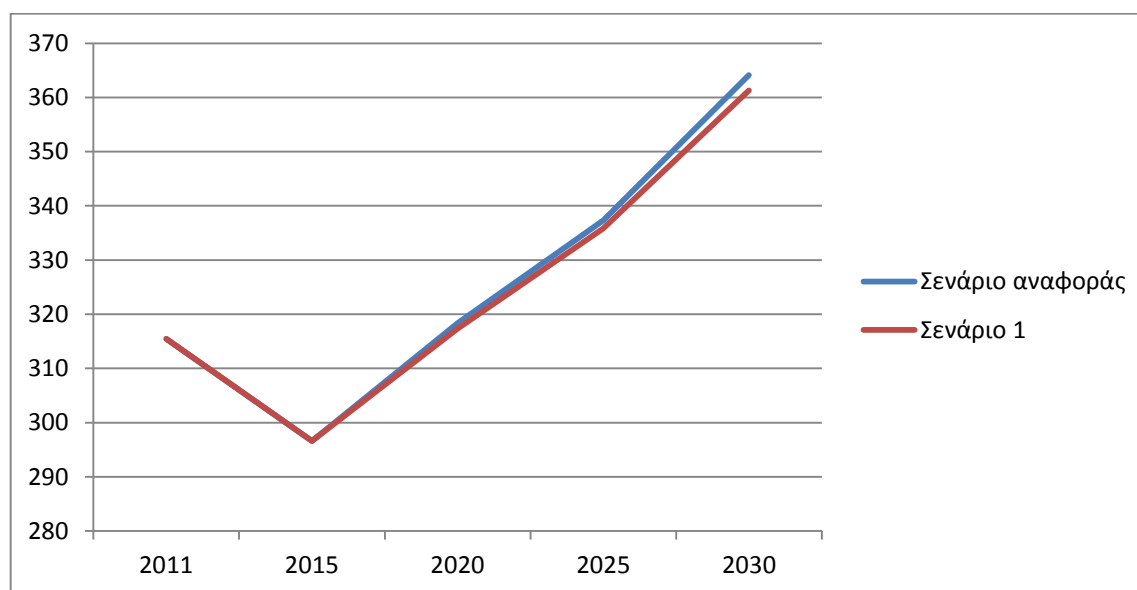
Το παρόν σενάριο εξετάζει τα αποτελέσματα της επιβολής βαρύτερης φορολογίας στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, πάντα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Αναμένεται να μειωθεί ακόμα παραπάνω η χρήση θερμικών μονάδων, καθώς εκπέμπουν ρύπους και δυσκολεύονται να εισέλθουν στην αγορά. Πιο αναλυτικά:

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Φόρος Σ.ΑΝ. (€2011/Mtn)</b>	0	5	7	10	15	30	40	50	60
<b>Φόρος Σ. 1 (€2011/Mtn)</b>	0	5	10	15	25	60	70	80	90
<b>TXL Σ.ΑΝ. (€2011/h)</b>	0	0.007	0.009	0.013	0.0175				
<b>TXL Σ. 1 (€2011/h)</b>	0	0.007	0.013	0.018	0.0276				

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1**

### 8.2.1 Μακροοικονομικά μεγέθη

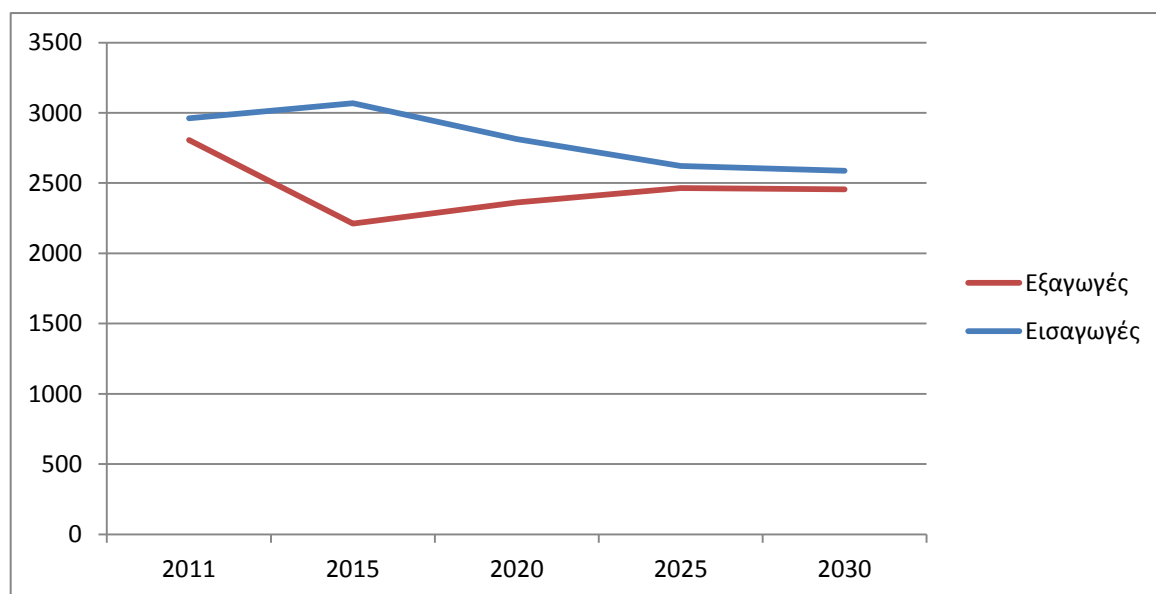
Αρχικά θα παρασταθούν τα αποτελέσματα του σεναρίου 1 σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς στα βασικά μακροοικονομικά μεγέθη και έπειτα στην ηλεκτροπαραγωγή. Όσον αφορά την εξέλιξη του ΑΕΠ, παρατηρούνται τα εξής:



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>ΑΕΠ (δισ €)</b> <b>Σ. ΑΝ</b>	315.43	296.62	318.34	337.29	364.11
<b>ΑΕΠ (δισ €)</b> <b>Σ. 1</b>	315.43	296.62	317.32	335.81	361.29

Όσον αφορά το εμπορικό ισοζύγιο, η αλλαγή του μείγματος παραγωγής ως αποτέλεσμα της εισαγωγής ΑΠΕ, προκαλεί μείωση της μέσης τιμής της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο εγχώριοι παραγωγοί γίνονται πιο ανταγωνιστικοί σε σχέση με εκείνους του εξωτερικού καθώς γίνεται η υπόθεση πως στο εξωτερικό δεν έχει εφαρμοστεί πολιτική φορολόγησης εκπομπών. Αντίθετα σε αυτή τη κατεύθυνση δρα το γεγονός πως η λειτουργία των θερμικών μονάδων έχει καταστεί δυσβάσταχτα ακριβή, οπότε συχνά προτιμάται η εισαγωγή από την παραγωγή. Το γεγονός αυτό εμποδίζει το ισοζύγιο να γίνει θετικό και οι εισαγωγές παραμένουν σε υψηλότερο επίπεδο από τις εξαγωγές.

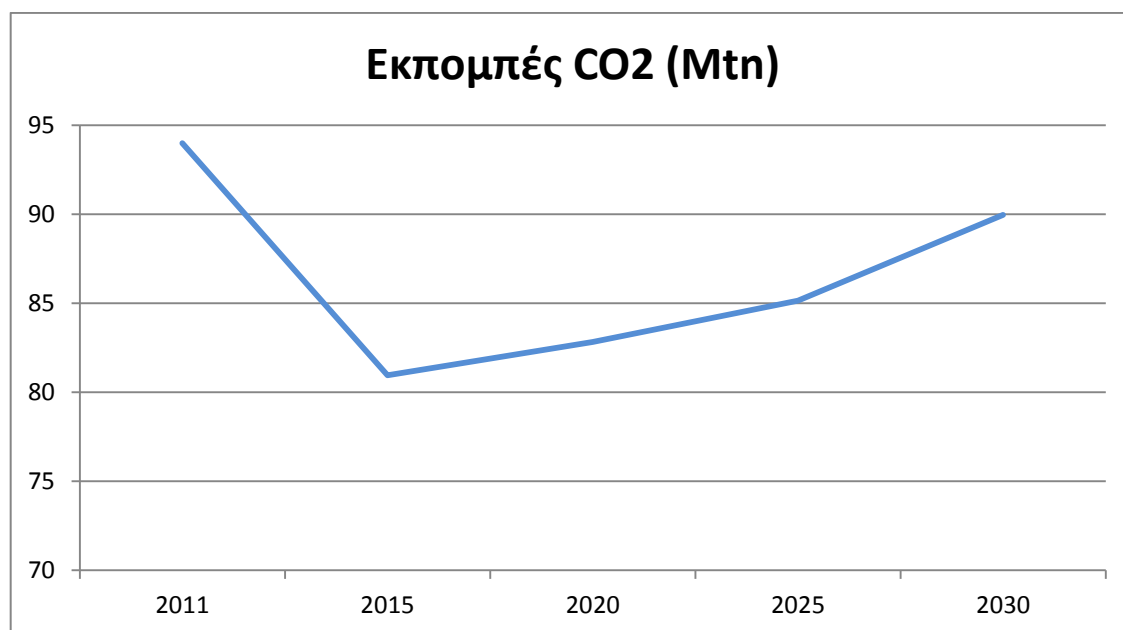


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWh), ΣΕΝΑΡΙΟ 1**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Εξαγωγές (GWh)</b>	2806.61	2212.70	2362.36	2464.40	2454.45
<b>Εισαγωγές (GWh)</b>	2960.99	3068.71	2814.04	2622.21	2588.23

## 8.2.2 Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής

Όσον αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων, παρατηρούνται τα εξής:

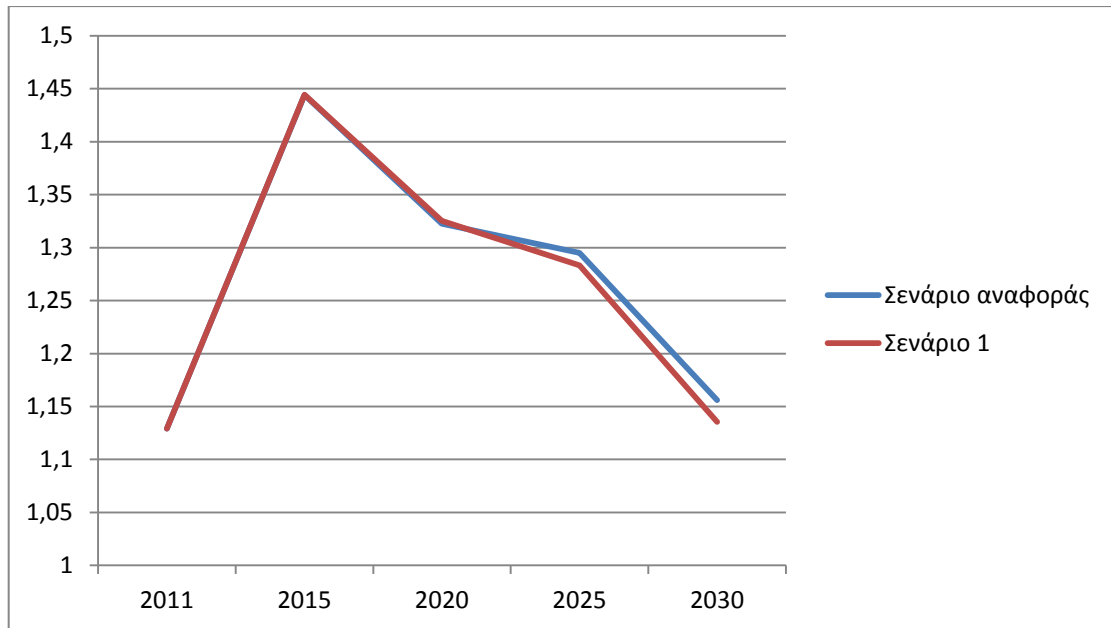


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>, ΣΕΝΑΡΙΟ 1

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub>, Σ. ΑΝ.</b>	93.99213	80.95561	83.64318	85.99064	91.35014
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub>, Σ. 1</b>	93.99213	80.94895	82.82109	85.14392	89.95267

Παρατηρούμε πως λόγω της επιβολής ακόμη αυστηρότερης φορολογίας, τα επίπεδα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έχουν μειωθεί περαιτέρω. Να σημειωθεί πως ανάμεσα στα δύο σενάρια παρατηρούμε την ανταλλαγή μεταξύ μιας μικρής μείωσης του ΑΕΠ προς μια μικρή μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ο υπεύθυνος για τη διαμόρφωση πολιτικής θα πρέπει να επιλέξει αν η μείωση των εκπομπών αξίζει τη θυσία ενός μικρού μέρους του συνολικού προϊόντος.

Όσον αφορά τη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούνται τα εξής:

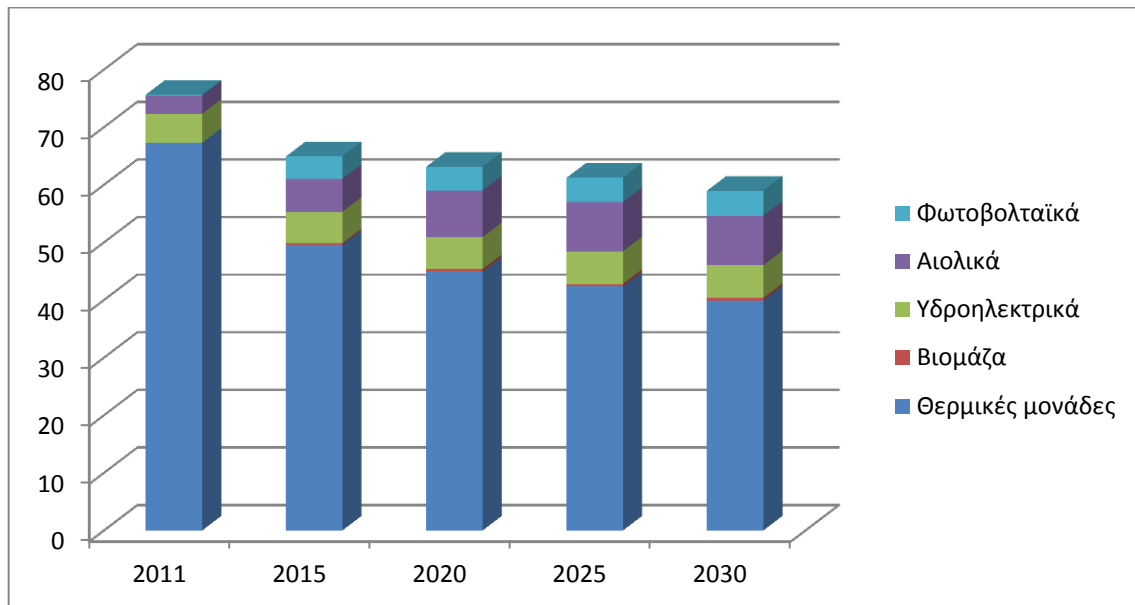


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ 1**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Μέση τιμή Η.Ε. Σ. ΑΝ.</b>	1.129192	1.444091	1.322434	1.294901	1.155999
<b>Μέση τιμή Η.Ε. Σ. 1</b>	1.129192	1.44413	1.325129	1.283332	1.135608

Ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της καμπύλης είναι πως ενώ η φορολογία αποφέρει αύξηση της τιμής ηλεκτρισμού για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο (9.1) αλλά μακροπρόθεσμα, όσο υψηλότερη είναι η φορολογία, τόσο γρηγορότερα μειώνεται η τιμή. Αυτό συμβαίνει επειδή σε βάθος χρόνου επιστρατεύονται οι ΑΠΕ, οι οποίες έχουν σχεδόν μηδενικό οριακό κόστος.

Όσον αφορά το μερίδιο κάθε τεχνολογίας στη παραγωγή ισχύος, παρατηρούνται τα εξής:



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ 1**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Θερμικές μονάδες</b>	67.29819	49.60723	44.93659	42.3673	39.94019
<b>Βιομάζα</b>	0.00103	0.259489	0.442555	0.442555	0.442555
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	5.027201	5.469505	5.542486	5.667144	5.654787
<b>Αιολικά</b>	3.172933	5.706477	8.110303	8.552029	8.597344
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0.184718	3.925558	4.144745	4.226756	4.364851

Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, η παραγωγή των θερμικών μονάδων γνωρίζει απότομη μείωση το 2015. Το κενό αυτό, σπεύδουν να καλύψουν οι μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες πραγματοποιούν μεγάλης κλίμακας επενδύσεις, ιδιαίτερα στα Αιολικά και τα Φωτοβολταϊκά, καθώς οι επένδυση σε αυτές τις μονάδες είναι φθηνότερη σχετικά με τις υπόλοιπες ΑΠΕ και επιπλέον δεν επιβαρύνονται σχεδόν καθόλου από τη φορολογία στο διοξείδιο του άνθρακα. Όπως αναμενόταν, η χρήση των θερμικών μονάδων μειώνεται δραστικότερα από το σενάριο αναφοράς, καθώς ο φόρος ανεβάζει περαιτέρω το κόστος παραγωγής τους.

### 8.3. Σενάριο 2: Επιδότηση ΑΠΕ

Στο παρόν σενάριο, ο διαχειριστής της πολιτικής επιδοτεί τις ΑΠΕ ώστε να αυξήσει τα κίνητρα κατασκευής νέων μονάδων, φιλικών προς το περιβάλλον. Τα χρήματα της επιδότησης αντλούνται από ένα πρόσθετο φόρο στη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο καταναλωτής να αντιλαμβάνεται υψηλότερη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά αυτό θα αντισταθμιστεί από τη μείωση της τιμής της Η.Ε. καθώς οι ΑΠΕ έχουν σχεδόν μηδενικό οριακό κόστος. Πιο αναλυτικά:

(2011 €/MWh)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
17	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25
18	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25
19	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
20	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
21	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2

Η παραπάνω παρέμβαση θα επιφέρει αλλαγές στις ακόλουθες εξισώσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η χρηματοδότηση των ΑΠΕ:

$$\begin{aligned}
 pIO_{ele,t} = & pY_{ele,t} \cdot (1 + txind_{ele,t}) \\
 & + \frac{pY_{ele,t}}{pY_{ele,0}} \cdot emfCO2_{ele} \cdot txcarb_{ele,t} \\
 & + \frac{pY_{ele,t}}{pY_{ele,0}} \cdot TXEXC2_{ele,t} \cdot Y_{ele,t}
 \end{aligned}$$

Εισαγωγή  
πρόσθετου  
φόρου  
κατανάλωσης  
(3.43)

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

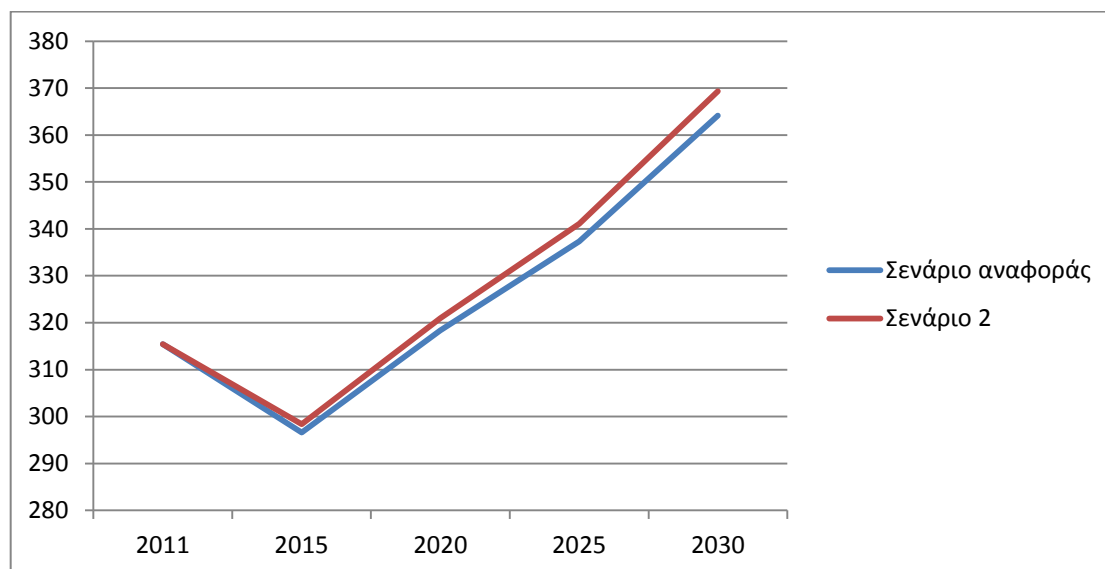
Προσθήκη  
επιδότησης  
για τις ΑΠΕ  
(5.7)

$$\begin{aligned}
 \sum_{\forall tec \in Renewables, runvtime, dem} & \frac{pINVT_{tec,t}}{pINVT_{tec,0}} \cdot subren_{tec,t} \cdot dur_{dem} \\
 \cdot GEN_{tec,vtime,dem,t} \cdot & \left( \frac{scaleq}{10^3 \cdot scalep} \right) \\
 = TXEXC2_{ele,t} \cdot Y_{ele,t} & \perp TXEXC2_{ele,t}
 \end{aligned}$$

Κλείσιμο  
κόστους της  
πολιτικής  
(9.8)

### 8.3.1 Μακροοικονομικά μεγέθη

Αρχικά θα παρασταθούν τα αποτελέσματα του σεναρίου 2 σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς στα βασικά μακροοικονομικά μεγέθη και έπειτα στην ηλεκτροπαραγωγή. Όσον αφορά την εξέλιξη του ΑΕΠ, παρατηρούνται τα εξής:

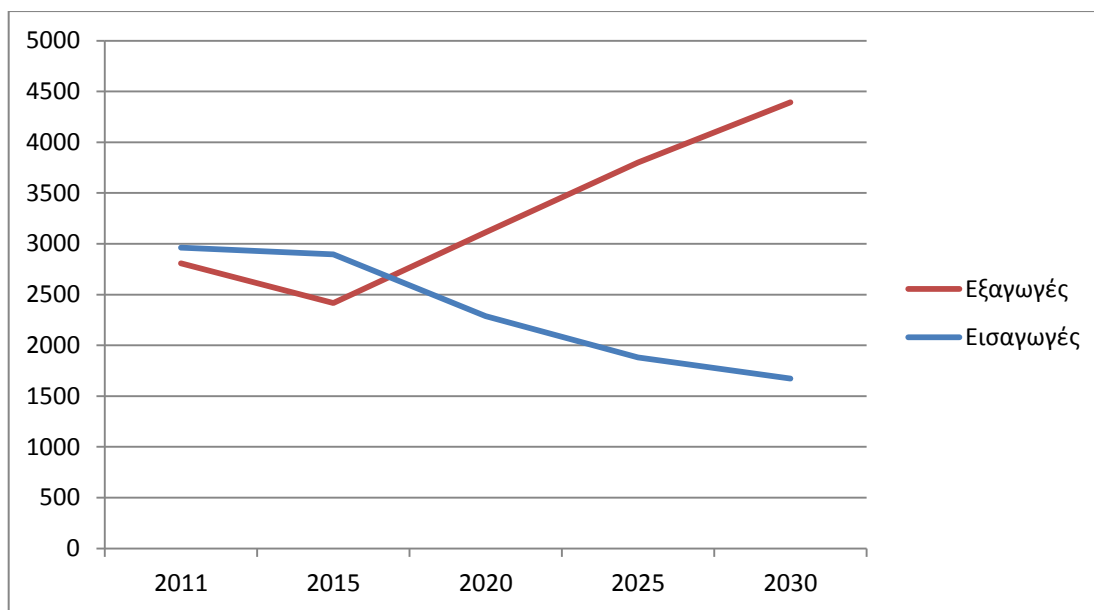


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΠ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>ΑΕΠ (δισ €) Σ. ΑΝ</b>	315.43	296.62	318.34	337.29	364.11
<b>ΑΕΠ (δισ €) Σ. 2</b>	315.44	298.35	320.94	341.07	369.30

Όσον αφορά το εμπορικό ισοζύγιο, η αλλαγή του μείγματος παραγωγής ως αποτέλεσμα της εισαγωγής ΑΠΕ, προκαλεί μείωση της μέσης τιμής της Ηλεκτρικής Ενέργειας, παρά το φόρο που επιβλήθηκε σε αυτή. Ο εγχώριοι παραγωγοί γίνονται πιο ανταγωνιστικοί σε σχέση με εκείνους του εξωτερικού καθώς γίνεται η υπόθεση πως στο εξωτερικό δεν έχει εφαρμοστεί πολιτική φορολόγησης εκπομπών. Το τελευταίο απεικονίζεται και στο παρακάτω διάγραμμα καθώς μετά το 2015 οι εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας ξεπερνούν σε μεγάλο βαθμό τις εισαγωγές, φτάνοντας σε υπερδιπλάσιο αριθμό και καθιστούν το ισοζύγιο θετικό.



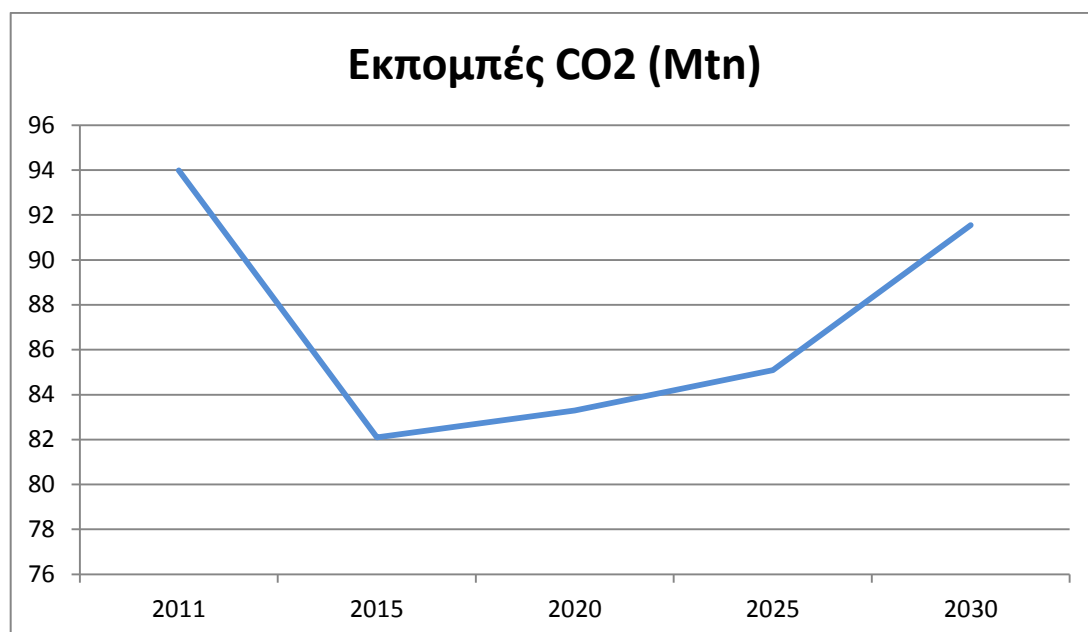


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΕΜΠΟΡΙΟ Η.Ε. ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ (GWh), ΣΕΝΑΡΙΟ 2**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Εξαγωγές (GWh)</b>	2806.61	2416.94	3114.50	3799.28	4391.73
<b>Εισαγωγές (GWh)</b>	2960.99	2897.55	2288.19	1882.39	1672.37

### 8.3.2 Μεγέθη ηλεκτροπαραγωγής

Όσον αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων, παρατηρούνται τα εξής:

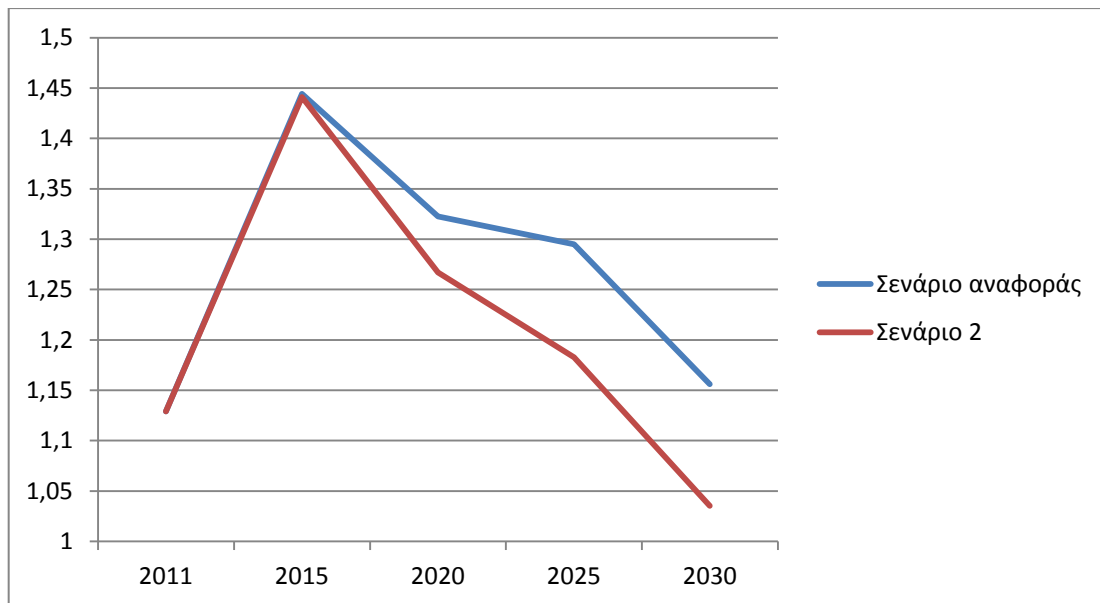


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>, ΣΕΝΑΡΙΟ 2

	2011	2015	2020	2025	2030
Εκπομπές CO <sub>2</sub> , Σ. ΑΝ.	93.99213	80.95561	83.64318	85.99064	91.35014
Εκπομπές CO <sub>2</sub> , Σ. 2	93.99213	82.09256	83.30072	85.09407	91.55347

Παρατηρούμε πως το Σενάριο 2 καταλήγει να έχει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα από το Σενάριο αναφοράς. Αυτό σημαίνει πως η επιδότηση στις ΑΠΕ επέδρασε ισοδύναμα στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, σε σχέση με το φόρο του σεναρίου αναφοράς. Όμως η παρούσα πολιτική είναι λιγότερο διαστρεβλωτική για την οικονομία και για αυτό το λόγο το συνολικό προϊόν προκύπτει μεγαλύτερο. Το υπόδειγμα αδυνατεί όμως να την επιλέξει από μόνο του, καθώς έχοντας μυωπικές προσδοκίες, αποθαρρύνεται από το μεγάλο κόστος επένδυσης στις ΑΠΕ, χωρίς να δύναται να αντιληφθεί τα μακροπρόθεσμα οφέλη.

Όσον αφορά τη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούνται τα εξής:

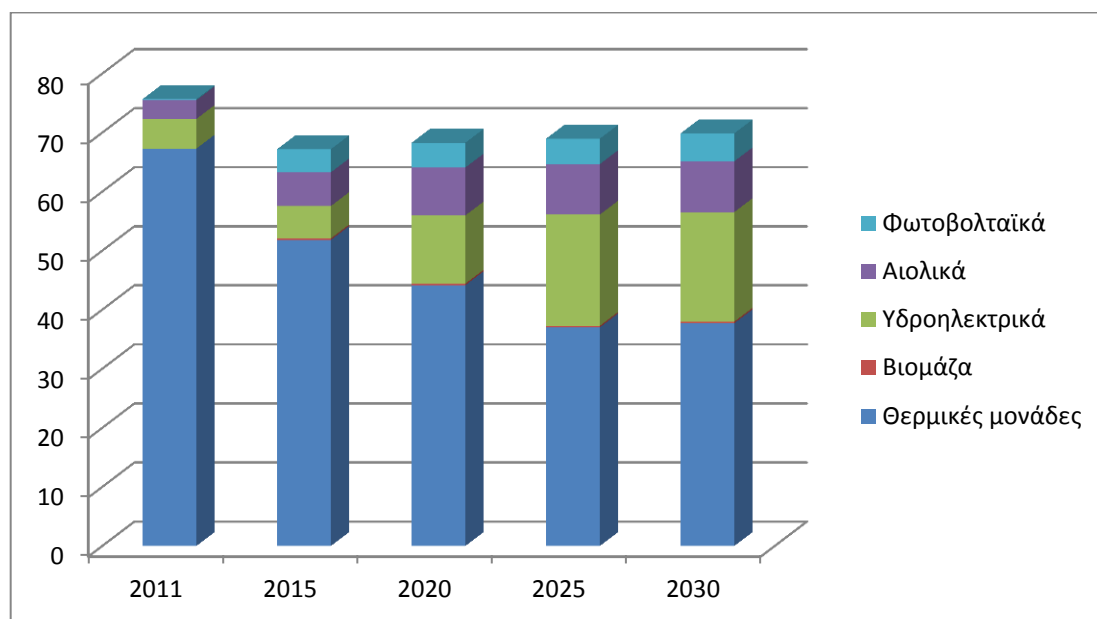


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ Η.Ε. , ΣΕΝΑΡΙΟ 2**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Μέση τιμή Η.Ε. Σ. AN.</b>	1.129192	1.444091	1.322434	1.294901	1.155999
<b>Μέση τιμή Η.Ε. Σ. 2</b>	1,129192	1,440987	1,266975	1,182763	1,035246

Στο σενάριο 2 παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η επιδότηση βοηθάει το υπόδειγμα να στραφεί προς τις ΑΠΕ οι οποίες όπως εξηγείται και προηγουμένως, το οδηγούν σε μια αποτελεσματικότερη κατάσταση, στην οποία αδυνατούσε να φτάσει μόνο του, λόγω του μυωπικού τρόπου επίλυσης.

Όσον αφορά το μερίδιο κάθε τεχνολογίας στη παραγωγή ισχύος, παρατηρούνται τα εξής:



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΜΕΡΙΔΙΟ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (GW), ΣΕΝΑΡΙΟ 2**

	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Θερμικές μονάδες</b>	67.29819	51.8166	44.15027	37.00627	37.70619
<b>Βιομάζα</b>	0.00103	0.259489	0.259489	0.259489	0.259489
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	5.027201	5.481835	11.56204	18.84639	18.57284
<b>Αιολικά</b>	3.272836	5.656487	8.410674	8.592612	8.697645
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0.184718	3.925558	4.196659	4.306462	4.734954

Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, η παραγωγή των θερμικών μονάδων γνωρίζει απότομη μείωση το 2015. Το κενό αυτό, σπεύδουν να καλύψουν οι μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες πραγματοποιούν μεγάλης κλίμακας επενδύσεις, ιδιαίτερα στα Αιολικά και τα Υδροηλεκτρικά, καθώς οι επένδυση σε αυτές τις μονάδες είναι φθηνότερη σχετικά με τις υπόλοιπες ΑΠΕ και επιπλέον επιδοτούνται από τη κυβέρνηση. Όπως αναμενόταν, η χρήση των θερμικών μονάδων μειώνεται δραστικότερα από το σενάριο αναφοράς,

καθώς η επιδότηση των ΑΠΕ αποτελεί μεγαλύτερο κίνητρο εγκατάληψής τους σε σχέση με τον αρχικό φόρο.

# 9

## *Επίλογος, συμπεράσματα*

Οι προσθήκες που εφαρμόστηκαν στο υπόδειγμα, κυρίως στο τομέα της επένδυσης, δίνουν τη δυνατότητα ορθότερης αξιολόγησης των επεκτάσεων καθώς και της συνολικής διαδικασίας απόφασης του τομέα ηλεκτροπαραγωγής. Οφείλει ωστόσο να δωθεί προσοχή, όπως αναλύεται και παρακάτω, στο γεγονός ότι το υπόδειγμα δεν είναι διαχρονικά δυναμικό, αλλά διαδοχικά δυναμικό, με άλλα λόγια δεν αξιολογεί το σύνολο των δεδομένων ολόκληρου του χρονικού ορίζοντα ταυτόχρονα, αλλά βασίζεται σε μυωπικές προσδοκίες. Προχωρώντας στην αξιολόγηση των σεναρίων, στο πρώτο σενάριο παρατηρούμε ότι μια αύξηση του φόρου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αυξάνει μεν το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στο μείγμα παραγωγής, αλλά ταυτόχρονα μειώνει τη συνολική ευημερία της κοινωνίας, γεγονός που απεικονίζεται στη μείωση του συνολικού προϊόντος της οικονομίας.

Προκύπτει συνεπώς το συμπέρασμα πως η οικονομία μετακινείται από το σημείο της αποτελεσματικότερης κατά Pareto ισορροπίας και οδηγείται σε μια ισορροπία η οποία εμφανίζει απώλεια ευημερίας (deadweight loss). Το παραπάνω οφείλεται πως ο φόρος εφαρμόζεται απευθείας στο παραγωγό ο οποίος κατέχει θερμικές μονάδες και τον καθιστά λιγότερο ανταγωνιστικό. Συνεπώς η πλειοψηφία των μονάδων παραγωγής θα βρεθεί αντιμέτωπη με τον κίνδυνο να κριθεί ασύμφορη η παραγωγή του.

Βασικό στοιχείο που οδηγεί στα παραπάνω αποτελέσματα είναι πως ο φόρος δεν είναι ομοιόμορφος στο σύνολο της παραγωγής, αλλά απευθύνεται στο παραγωγικότερο κομμάτι της και επιπλέον η αποθάρρυνση της παραγωγής των θερμικών μονάδων δε στρέφει εξ'ολοκλήρου τους παραγωγούς προς τις ΑΠΕ καθώς λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής τους πιθανόν η ζήτηση να καλυφθεί μερικώς από τις εισαγωγές. Αυτό γίνεται φανερό από τη πορεία του ισοζυγίου εισαγωγών-εξαγωγών το οποίο παραμένει αρνητικό σε ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα.

Εν αντιθέσει, στο δεύτερο σενάριο, στο οποίο επιδοτούνται απευθείας οι ΑΠΕ, δίνεται ξεκάθαρα η κατεύθυνση κατασκευής τους. Το εμπόδιο του υψηλού κόστους επένδυσης ξεπερνάται από την επιδότηση και έτσι το μερίδιο των ΑΠΕ στην αγορά αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Λόγω της επικράτησης των ΑΠΕ, οι οποίες έχουν σχεδόν μηδενικό κόστος παραγωγής, οι εγχώριοι παραγωγοί καθίστανται πιο ανταγωνιστικοί από τους αντίστοιχους του εξωτερικού και όπως φαίνεται στα αποτελέσματα οι εξαγωγές εκτοξεύονται, ενώ και το κόστος ανά kWh μειώνεται. Το πιο αξιοσημείωτο και εκ πρώτης όψεως παράδοξο είναι πως όχι μόνο δε μειώνεται το συνολικό προϊόν, αλλά αυξάνεται. Από τη θεωρία γενικής ισορροπίας και το 1<sup>ο</sup> θεώρημα του Walras, γνωρίζουμε πως η ισορροπία σε ένα τέλεια ανταγωνιστικό περιβάλλον είναι ισοδύναμη με την ισορροπία που θα επέβαλε και ένας κοινωνικός σχεδιαστής, συνεπώς είναι αδύνατη η περαιτέρω βελτίωσή της μέσω κρατικών παραμβάσεων. Το αποτέλεσμα που προέκυψε δείχνει πως η ισορροπία του σεναρίου αναφοράς δεν ήταν η βέλτιστη και για αυτό ευθύνεται η μυωπική λύση του υποδείγματος. Ένα διαχρονικά δυναμικό υπόδειγμα, θα αντιλαμβανόταν ότι η χρήση των ΑΠΕ είναι η πιο προσοδοφόρα επιλογή σε βάθος χρόνου, γεγονός που το παρόν υπόδειγμα δε μπορεί να συλλάβει. Συνεπώς το σενάριο 2 αποτελεί ένα είδος κατευθυντήριου βοηθήματος στο υπόδειγμα, το οποίο το βοηθά να βρει την ισορροπία Walras. Εν κατακλείδι, ιδιαίτερης σημασίας χρήζει η μετατροπή του υποδείγματος σε διαχρονικά δυναμικό (intertemporal), ώστε να ελέγχονται ταυτόχρονα οι περιορισμοί για κάθε χρονική περίοδο και να μη ξεφεύγει ο έλεγχος των καμπυλών ζήτησης από το υπόδειγμα, καθώς η τελευταία θα αυξάνεται λόγω της μείωσης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

# Βιβλιογραφία

- Ando A., F. Modigliani, R. Rasche and S. Turnofsky (1974): "On the role of expectations of price and technological change in investment function", *International Economic Review*, Vol. 15, No 2, June, pp. 384-414.
- Armington, P. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *Internationa 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.
- Blanchard, O.J. , & Fisher, S. (1989). Lectures on Macroeconomics (MIT Press)
- Blanchflower, D.G and A.J. Oswald (1990): "The Wage Curve," NBER Working Paper No. W3181.
- Bohringer, C., & Rutherford, T. (2005). Integrating Bottom-Up into Top-Down: A Mixed Complementarity Approach. *Discussion Paper*. Mannheim, Germany.
- Bohringer, C., & Rutherford, T. (2006). Combining Top-Down and Bottom-up in Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach. *Discussion Paper*. Mannheim, Germany.
- Bourguignon, F. and A. Spadaro (2006) Microsimulation as a Tool for Evaluating Redistribution Policies. Society for the Study of Economic Inequality, Working Paper 2006 – 20.
- 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., P. Georgakopoulos et al. (1995) "Double Dividend Analysis: First results of a general equilibrium model linking the EU-12 countries", in C. Carraro and D. Siniscalco (editors) "Environmental Fiscal Reform and Unemployment", Kluwer Academic Publishers, 1995
- 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.



- 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.
- 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.
- Elekdag Selim, René Lalonde, Douglas Laxton, Dirk Muir, and Paolo Pesenti, "Oil Price Movements and the Global Economy: A Model-Based Assessment" ,Bank of Canada Working Paper 2007-34, May 2007
- 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>
- Harberger, A. C. (1962). The incidence of the Corporation Income Tax. *Journal of Political Economy*, 70, 215-240.
- Hayashi F., (1982), "Tobin's Marginal q and Average q: A Neoclassical Interpretation, *Econometrica*, Vol. 50, No. 1, pp. 213-224
- Hosoe, N., Gasawa, K., & Hashimoto, H. (2010). *Textbook of Computable General Equilibrium Modelling*. New York: Palgrave MacMillan.
- 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.
- Mas-Colell, A. , Whinston, M. D. ,Green, J. R. (1996). *Microeconomic Theory*. Oxford University Press.
- 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.

- Nehru, V., A. Dhareshwar and DEC (1994): "New estimates of total factor productivity growth for developing and industrial countries," Policy Research Working Paper Series 1313, The World Bank.
- 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.
- Robichaud V. (2001) Calculating Equivalent and Compensating Variations in CGE Models .
- 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.
- 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.
- Tobin, J. (1969). A General Equilibrium Approach To Monetary Theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1, 15-29.
- Vandenbussche J., Aghion P. and Meghir C. (2006). "Growth, distance to frontier and composition of human capital," *Journal of Economic Growth*, Springer, vol. 11(2), pages 97-127, June.
- Αβραάμ Χ. Χ. (2015). Ενσωμάτωση Λεπτομερούς Μοντέλου Ηλεκτροπαραγωγής Σε Υπόδειγμα Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας. *Διπλωματική Εργασία*, Αθήνα
- Βαρούχας, Γ. Ε. (2011). Ανάπτυξη Περιφερειακού Εμπορίου Και Συνεργασίας Χωρών Της Μεσογείου, Σύγκλιση Οικονομικής Μεγέθυνσης Και Περιφερειακής Ολοκλήρωσης. *Διδακτορική Διατριβή*, Πάτρα
- Κάπρος, Π. (2008). *Μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού*. Αθήνα.
- Παρούσος, Λ. Λ. (2009). Ενέργεια Και Κλιματική Αλλαγή: Οικονομική Ανάλυση Στο Πλαίσιο Της Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας. *Διδακτορική Διατριβή*. Αθήνα.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## **Εξαγωγή συνθηκών Lagrange για το πρόβλημα βελτιστοποίησης της κοινωνικής ευημερίας μέσω τιμολόγησης Ramsey**

Για κάθε ζώνη τάσης, ορίζουμε τις συναρτήσεις ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τις αντίστροφές τους:

$\forall \text{voll} \in \{1, 2, \dots, n\}$  θεωρούμε συναρτήσεις ζήτησης:  $\begin{bmatrix} q_1(p_1) \\ q_2(p_2) \\ \vdots \\ q_n(p_n) \end{bmatrix}$  και τις αντίστροφές τους:  $\begin{bmatrix} p_1(q_1) \\ p_2(q_2) \\ \vdots \\ p_n(q_n) \end{bmatrix}$ .

Επιπλέον θεωρούμε και τη συνάρτηση συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής:

$$C(q_1, q_2, \dots, q_n) = C(q).$$

Συνεπώς τα συνολικά έσοδα υπολογίζονται:

$$R(p, q) = \sum_{\text{voll}=1}^n p_{\text{voll}} \cdot q_{\text{voll}}(p_{\text{voll}})$$

Το μέγεθος που θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε, η συνολική κοινωνική ευημερία προκύπτει ως το άθροισμα των πλεονασμάτων καταναλωτή και παραγωγού, υποθέτοντας σημείο ισορροπίας  $(p_{\text{voll}}^*, q_{\text{voll}}^*)$ :

$$\text{Consumer's Surplus} = \sum_{\text{voll}=1}^n \int_0^{q_{\text{voll}}(p_{\text{voll}})} p_{\text{voll}}(q) dq - p_{\text{voll}}^* \cdot q_{\text{voll}}^*$$

$$\text{Producer's Surplus} = p_{\text{voll}}^* \cdot q_{\text{voll}}^* - C(q)$$

Η συνολική κοινωνική χρησιμότητα  $W(p, q)$  ισούται με το άθροισμα των δύο παραπάνω:

$$\text{Total Surplus} = \text{Consumer's Surplus} + \text{Producer's Surplus} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W(p, q) = \sum_{\text{voll}=1}^n \int_0^{q_{\text{voll}}(p_{\text{voll}})} p_{\text{voll}}(q) dq - C(q)$$

Το πρόβλημα έγκειται στη μεγιστοποίηση του  $W(p, q)$  με περιορισμό όσον αφορά το συνολικό κέρδος  $\pi(p, q) = R(p, q) - C(q)$  να είναι ίσο με έναν εξωγενή στόχο  $\pi^*$ , ο οποίος στα κοινωνικά μονοπώλια είναι συνήθως ίσος με μηδέν. Οπότε το πρόβλημα εκφράζεται ως εξής:

$$\max W(p, q)$$

s. t.

$$R(p, q) - C(q) = \pi^*$$

Από την υπόθεση ότι η συνάρτηση  $W$  είναι quasi-concave, συνεπάγεται ότι η λύση προκύπτει μέσω της εξίσωσης Lagrange.

Οπότε:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= W(p, q) - \lambda \cdot (\pi^* - R(p, q) + C(q)) = \\ &= \sum_{voll=1}^n \int_0^{q_{voll}(p_{voll})} p_{voll}(q) dq - C(q) - \lambda (\pi^* - \sum_{voll=1}^n p_{voll} \cdot q_{voll}(p_{voll}) + C(q)) \end{aligned}$$

Παίρνουμε τις συνθήκες πρώτης τάξης για κάθε  $vol$  στο σύνολο  $voll$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_{voll}}(q_{voll}^*, \lambda^*) &= 0 \\ &\Rightarrow \frac{\partial \sum_{voll=1}^n \int_0^{q_{voll}(p_{voll})} p_{voll}(q) dq - C(q)}{\partial q_{voll}}(q_{voll}^*) \\ &\quad - \lambda^* \left( -\frac{\partial R(p, q)}{\partial q_{voll}}(q_{voll}^*) + \frac{\partial C(q)}{\partial q_{voll}}(q_{voll}^*) \right) = 0 \end{aligned}$$

Αλλά  $\frac{\partial C(q)}{\partial q_{voll}}(q_{voll}^*) = MC(q_{voll}^*)$ , όπου με  $MC$  συμβολίζουμε το οριακό κόστος.

Συνεπώς, κάνοντας τις παραγωγίσεις:

$$\begin{aligned} p_{voll}(q_{voll}^*) - MC(q_{voll}^*) - \lambda^* \left( -p_{voll}(q_{voll}^*) - \frac{\partial p_{voll}(q_{voll}^*)}{\partial q_{voll}} \cdot q_{voll}^* + MC(q_{voll}^*) \right) \\ = 0 \xrightarrow{p_{voll}(q_{voll}^*) = p_{voll}^*} \end{aligned}$$

$$p_{voll}^* - (1 + \lambda^*) \cdot MC(q_{voll}^*) = -\lambda^* \cdot p_{voll}^* - \lambda^* \cdot \frac{\partial p_{voll}(q_{voll}^*)}{\partial q_{voll}} \cdot q_{voll}^* \Rightarrow$$

$$p_{voll}^* - (1 + \lambda^*) \cdot MC(q_{voll}^*) = -\lambda^* \cdot p_{voll}^* - \lambda^* \cdot p_{voll}^* \cdot \frac{\partial p_{voll}(q_{dem}^*)}{\partial q_{voll}} \cdot \frac{q_{voll}^*}{p_{voll}^*}$$

Αλλά ο λόγος  $\frac{\partial p_{vol}(q_{vol}^*)}{\partial q_{vol}} \cdot \frac{q_{vol}^*}{p_{vol}^*}$  είναι ίσος με τον αντίστροφο της ελαστικότητας ζήτησης  $\varepsilon$  :

$\frac{\partial p_{vol}(q_{vol}^*)}{\partial q_{vol}} \cdot \frac{q_{vol}^*}{p_{vol}^*} = \frac{1}{\varepsilon} < 0$  , καθώς αν αυξηθεί η τιμή ενός κανονικού αγαθού όπως η ηλεκτρική ενέργεια, τότε η ζήτηση μειώνεται.

Συνεπώς η εξίσωση γίνεται:

$$(1 + \lambda^*) \cdot p_{vol}^* - (1 + \lambda^*) \cdot MC(q_{vol}^*) = \lambda^* \cdot p_{vol}^* \cdot \frac{1}{|\varepsilon|} \Rightarrow$$

$$\frac{p_{vol}^* - MC(q_{vol}^*)}{p_{vol}^*} = \frac{\lambda}{1 + \lambda} \perp p_{vol}^* , \lambda < 0 \quad \text{(I)}$$

Μένει να παραγωγίσουμε τον τελεστή Lagrange και ως προς το  $\lambda$ :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda}(q_{vol}^*, \lambda^*) = 0 \Rightarrow \pi^* - R(p, q) + C(q) = 0 \Rightarrow \pi^* = R(p, q) + C(q) \perp \lambda^* \quad \text{(II)}$$

Το σύστημα εξισώσεων **(I)**, **(II)** αποτελεί ένα σύστημα προς επίλυση από το οποίο προκύπτουν οι τιμές Ramsey ανά επίπεδο τάσης  $p_{vol}^*$ .

