ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μικροοικονομική Ανάλυση της Πολιτικής Εμπορίας των Δικαιωμάτων Εκπομπών CO_2 σε μια τοπική Αγορά Ηλεκτρισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Σακκά Ευαγγελία

Επιβλέπων: Ψαρράς Ιωάννης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2010

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μικροοικονομική Ανάλυση της Πολιτικής Εμπορίας των Δικαιωμάτων Εκπομπών CO_2 σε μια τοπική Αγορά Ηλεκτρισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Σακκά Ευαγγελία

Επιβλέπων: Ψαρράς Ιωάννης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....	.....	.....
Ι. Ψαρράς	Δ. Ασκούνης	Γ. Μέντζας

Αθήνα, Μάρτιος 2010

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία που τεκμηριώνεται στο παρόν έγγραφο έχει ως αντικείμενο την ανάλυση της πολιτικής της εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 σε μια τοπική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η τοπική αγορά έχει εφαρμόσει το ευρωπαϊκό σχέδιο περιορισμού των εκπομπών του CO_2 και διερευνούμε πως η εφαρμογή της πολιτικής εμπορίας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο επιδρά στη λειτουργία της τοπικής αγοράς.

Ολοκληρώνοντας την εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Ψαρρά, επιβλέποντα καθηγητή, για την ανάθεση της εργασίας, καθώς επίσης και τον Σωτήρη Παπαδέλη για την άριστη συνεργασία και το πολύτιμο συμβουλευτικό και καθοδηγητικό του έργο κατά τη διεκπεραίωση της διπλωματικής.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση της επίπτωσης της ευρωπαϊκής πολιτικής εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα CO_2 σε μια τοπική αγορά ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό κατασκευάσαμε ένα γραμμικό μοντέλο βελτιστοποίησης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που προσδιορίζει τα νέα σημεία μερικής ισορροπίας της αγοράς, όταν αυτή χαρακτηρίζεται από διαφορετικές τεχνολογίες και άνω όρια εκπομπής CO_2. Με εργαλείο το ενεργειακό μοντέλο, μπορέσαμε να εξετάσουμε τις επιπτώσεις που υφίσταται η αγορά. Η πρώτη παρατήρηση, που ήταν αναμενόμενη όμως, ήταν η αγορά δικαιωμάτων εκπομπών προκειμένου οι διαφορετικές τεχνολογίες να συνεχίσουν να δραστηριοποιούνται προσφέροντας σαν να μην τους έχουν τεθεί όρια. Ωστόσο, σημαντική παρατήρηση υπήρξε η επιρροή της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπών στην απόφαση των παραγωγών αν θα αγοράσουν δικαιώματα. Η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών, επίσης, επηρέασε τις απώλειες πλούτου της αγοράς. Με άλλα λόγια, από αυτήν σχετίζεται το κόστος εφαρμογής της πολιτικής εμπορίας των δικαιωμάτων CO_2 στην αγορά. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, πώς οι απώλειες πλούτου της αγοράς ενέργειας αυξάνονται με την αυξητική πορεία της τιμής αυτών. Το κόστος αυτό μοιράζεται στα μέλη που απαρτίζουν την αγορά, δηλαδή παραγωγούς και καταναλωτές. Παρατηρήσαμε πως η νομοθετική εξουσία έχει τη δυνατότητα να επιλέγει πως θα κατανεμηθεί το εν λόγω κόστος. Έχει στη διάθεση της δυο σημαντικά εργαλεία προκειμένου να πετύχει το στόχο της. Μια επιλογή είναι να επεμβαίνει στον προσδιορισμό των άνω ορίων εκπομπών CO_2 της κάθε τεχνολογίας. Έτσι, μπορεί να επιλέγει ποιον παραγωγό θα ευνοεί. Συνεχίζοντας, το δεύτερο εργαλείο της είναι η νομοθετική θέσπιση άνω ορίου της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών. Μέσω αυτής της θέσπισης η αγορά επιλέγει να ευνοήσει τους καταναλωτές αποτρέποντας τους από το να πληρώσουν υψηλές τιμές.

Abstract

The scope of this project is the analysis of the impact of European policy of trading permits emission CO_2 in a local market for electricity. To this end, we constructed a linear model of optimization for the electricity market that identifies the new partial equilibrium points when this market is characterized by different technologies and limits in CO2 emission. Using as a tool this energy model, we were able to examine the impacts in the market. The first thing we noticed, that was expected however, was that purchase of permits emission so that different technologies continued to produce even though they were limited is influenced. However, the important point was the influence of the value of permits emissions in producers' decision to buy permits. The value of permits, also affected the loss of market's welfare. In other words, this is expressing the cost of implementation of the trading policy. So, the loss of wealth of the energy market increases when the permit's price is rising. This cost is sharing between her members, producers and consumers. We noticed that the market has the ability to choose how to distribute these costs. It has at the disposal of two important tools to achieve its objective. One option is to intervene in the determination of the upper limits of CO_2 emissions. So, market may choose which producer favors. Another option is that prices are determined by the regulator rather than the effects in the electricity market. Through this, the market has chosen to help consumers to avoid paying much higher prices.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

2. **ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (EUROPEAN UNION EMISSIONS TRADING SCHEME)**
   - 2.1 Εισαγωγικά στοιχεία του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
   - 2.2 Συνύπαρξη του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών με το σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας
   - 2.3 Βασικές αρχές επιλογής προτεινόμενων στρατηγικών συμμόρφωσης με το Ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
   - 2.4 Διαδικασία σχεδιασμού των στρατηγικών συμμόρφωσης με το Ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω γραμμικού προβλήματος
   - 2.5 Παράδειγμα ενός γραμμικού προβλήματος για την επιλογή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

3. **ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**
   - 3.1 Εισαγωγικά
   - 3.2 Τεχνολογική μάθηση
   - 3.3 Περιγραφή των μοντέλων Βελτιστοποίησης και Προσομοίωσης
     - 3.3.1 Μοντέλα Βελτιστοποίησης
     - 3.3.2 Στοιχεία ενός τυπικού ενεργειακού γραμμικού ανταγωνιστικού μοντέλου
   - 3.4 Ταξινόμηση των μοντέλων βελτιστοποίησης
     - 3.4.1 Μοντέλα βελτιστοποίησης τέλειων ανταγωνιστικών αγορών
     - 3.4.2 Μοντέλα βελτιστοποίησης ατελών ανταγωνιστικών αγορών
       - 3.4.2.1 Εξάρτηση της ευημερίας με τις δυνάμεις της αγοράς
     - 3.4.3 Διάκριση των ατελών ανταγωνιστικών αγορών
   - 3.5 Μοντέλα Προσομοίωσης

4. **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**
   - 4.1 Εισαγωγικά
   - 4.2 Η Διαδικασία γραμμικοποίησης της ελαστικής ζήτησης
   - 4.3 Καταγραφή των φάσεων ανάπτυξης του μοντέλου μας
     - 4.3.1 Ονομαστικό (reference) σενάριο
     - 4.3.2 Μοντέλο με περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 και εμπορία δικαιωμάτων (Emissions Cap and Trade)

5. **ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΓΟΡΑΣ**

6. **ΣΥΜΠΕΡΑΜΑΤΑ**

7. **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία σχετίζεται με το ευρωπαϊκό σχέδιο περιορισμού των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 που συνοδεύεται από την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών (European Union Emissions Trading Scheme). Το εν λόγω σχέδιο αποτελεί ένα εργαλείο άσκησης πολιτικής. Η ευρωπαϊκή κοινότητα ευαισθητοποιημένη για τις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα, επί το πλείστον, αλλά και των άλλων αερίων, αποφάσισε και ψήφισε όλες οι χώρες της να προβούν σε σημαντικές μειώσεις των επικίνδυνων εκπομπών τους. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, το συγκεκριμένο σχέδιο τους αναγκάζει να συμμορφωθούν με τις οδηγίες της κοινότητας.

Στην εργασία επιλέξαμε να σχολιάσουμε τις επιπτώσεις του σχεδίου αυτού στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πληθώρα των περιπτώσεων οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας επιδοτούνται μέσω της κυβέρνησης με δικαιώματα εκπομπής ρύπων, έτσι ώστε να έχουν κίνητρο να μείνουν πιστοί τις οδηγίες της κοινότητας αλλά και να μπορέσουν να εμπορευτούν τα δικαιώματα που έλαβαν ή κατόρθωσαν να εξασφαλίσουν επενδύοντας για την αποκόμιση κέρδους. Τονίζουμε ότι οι κυβερνήσεις προχωρούν στις επιδοτήσεις αυτές σκεπτόμενοι το όφελος των καταναλωτών. Με άλλα, λόγια επιθυμούν οι παραγωγοί να συνεχίσουν να προσφέρουν τόση ηλεκτρική ενέργεια όση θα ικανοποιούσε τους καταναλωτές και ακόμη να μην επιβαρυνθούν το κόστος του σχεδίου οι καταναλωτές.

Γεννήθηκε, λοιπόν, το ερώτημα ποιες θα ήταν οι επιπτώσεις του ευρωπαϊκού σχεδίου των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με την ταυτόχρονη εμπορία δικαιωμάτων σε μια τοπική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που όμως οι παραγωγοί ενέργειας δεν λαμβάνουν δωρεάν δικαιώματα εκπομπής από κρατικές επιδοτήσεις. Και ακόμη, να επαληθεύσουμε γιατί είναι αναγκαία η διανομή συγκεκριμένου αριθμού δωρεάν δικαιωμάτων. Συνεχίζοντας, η κυβέρνηση είτε αδυνατεί λόγω οικονομικών ελλειμμάτων της ή δεν επιθυμεί να συνεισφέρει. Στην περίπτωση αυτή οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας αν αποφασίσουν να παράγουν με χρήση δικαιωμάτων τότε αναγκάζονται να τα αγοράσουν με ιδιωτικό κόστος. Το πρόσθετο αυτό κόστος της παραγωγής καλούμαστε να εξετάσουμε πως θα το διαχειριστούν οι παραγωγοί.

Αποφασίσαμε, επιπρόσθετα, να διερευνήσουμε τους παράγοντες εκείνους από τους οποίους εξαρτάται το κόστος που επιφέρει σε μια τοπική αγορά ενέργειας η εφαρμογή του εν λόγω σχεδίου. Μέτρο για το κόστος εφαρμογής του αποτελεί η απώλεια πλούτου της αγοράς. Με άλλα λόγια η απώλεια πλούτου των παραγωγών και καταναλωτών. Οπότε, στην ουσία εξετάζουμε πως θα επηρεαστεί ο δείκτης πλούτου της αγοράς σε σχέση με την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής η οποία κρύβει ένα

βαθμό αβεβαιότητας και δεν μπορεί να καθοριστεί εκ των προτέρων πλήρως. Και επίσης, να εξετάσουμε τους παράγοντες εκείνους που σχετίζονται με την κατανομή του κόστους του σχεδίου ανάμεσα στους παραγωγούς και καταναλωτές. Ταυτόχρονα, με το πώς κατανέμεται το σχέδιο στις ομάδες της αγοράς προσπαθούμε να διευκρινίσουμε πως μοιράζεται η επιβάρυνση του κόστους του σχεδίου εκπομπών μεταξύ όλων των παραγωγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}

ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (EUROPEAN UNION EMISSIONS TRADING SCHEME)

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί ένα «εργαλείο άσκησης πολιτικής». Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια κοινότητα ευαισθητοποιήθηκε στην παρατηρούμενη κλιματική μεταβολή και δραστηριοποιήθηκε υιοθετώντας φιλικότερες προς το περιβάλλον συμπεριφορές. Μιας και έχουν αποδειχτεί ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου συνδέεται με την κλιματική αλλαγή, εστίασαν περισσότερο στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 που αυξήθηκαν 25% σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή αλλά και στα υπόλοιπα πέντε αέρια. Ειδικότερα, μέσω ενός δείκτη αντιστοιχούν τα επίπεδα ρύπων των αερίων αυτών σε ρύπους διοξειδίου του άνθρακα CO_2 .

Το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών βασίζεται στο Kyoto Protocol που εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 1997 από τον παγκόσμιο οργανισμό UNFCCC. Το τελευταίο, δηλαδή το Kyoto, εφαρμόζεται από το 2008 έως το 20012 στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες , ενώ οι εκτός σχεδίου χώρες είναι δυνατόν να προβούν σε περιορισμούς καθαρά εθελοντικά. Το Kyoto περικλείει μηχανισμούς που βοηθούν τις εγκαταστάσεις να υλοποιήσουν τους στόχους εκπομπής. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί βασίζονται σε μια αγορά που προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το χαμηλό κόστος υλοποίησης του στόχου. Επίσης, παρατηρείται ότι η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων γίνεται κίνητρο ανάπτυξης και υιοθέτησης νέων τεχνολογιών. Επίσης, οι επιλογές δράσεων που επιτρέπει το Kyoto είναι περιορισμένες. Πρώτον, επιτρέπει τις χώρες που περιορίζονται από το σχέδιο να αναλαμβάνουν δράσεις (projects) ώστε να συμμορφωθούν με το στόχο του σχεδίου. Δεύτερον, οι χώρες αυτές έχουν την δυνατότητα να εμπορευτούν τα δικαιώματα τους. Τρίτον και τελευταίο, οι χώρες που δεν βαρύνονται με περιορισμούς εκπομπών ρύπων έχουν την επιλογή να εμπορευτούν τα δικαιώματα τους στις χώρες που τα χρειάζονται.

Το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών είναι μεταγενέστερο του Kyoto Protocol. Πρόγονος του θα μπορούσε να θεωρηθεί το σχέδιο όξινης βροχής που εφαρμόστηκε στην Αμερική. Και αυτό διένεμε δωρεάν δικαιώματα εκπομπών βασισμένο στις συνθήκες της αγοράς. Διασαφηνίζεται ότι το EU ETS έχει χαρακτήρα καθαρά εθνικό και όχι διεθνή. Και, οι ευνοϊκότερες υποθέσεις αναμένουν μειώσεις της τάξεως του 40%. Ειδικότερα ψηφίστηκε από το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο τον Ιούλιο του 2003 και

εφαρμόστηκε το Γενάρη του 2005. Ορίζει μια περίοδο προετοιμασίας από το 2005 έως το 2007 και κατόπιν μια πενταετή χρονική διάρκεια στην οποία συγχρονίζεται με το Kyoto Protocol. Συνεχίζοντας την ανάλυση του EU ETS επισημαίνουμε ότι οι περιορισμοί που αναλαμβάνει η κάθε χώρα, διαμορφώνονται από τα εθνικά προγράμματα διανομής περιορισμών που ονομάζονται NAPS. Οι περιορισμοί αυτοί διαμοιράζονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής της χώρας διαμέσου του NAPs.

Το ευρωπαϊκό σχέδιο για τις μειώσεις των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα καθιερώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% την περίοδο 2008 ως 2012. Η επίτευξη του στόχου αυτού περιλαμβάνει δύο υποομάδες στόχων. Η πρώτη αφορά το μέγεθος του διοξειδίου του άνθρακα που μπορεί κάθε εγκατάσταση να εκπέμπει και η δεύτερη αφορά την υποχρέωση κάθε εγκατάστασης να περιορίσει σε βαθμό ίσο με τις συνολικές εκπομπές της σε μια ημερολογιακή χρονιά.

Το ευρωπαϊκό πλάνο χωρίζεται σε δύο φάσεις. Αρχικά, από το 2005 ως 2007 εφαρμόζεται μερικώς στις μεγάλες εγκαταστάσεις της βαριάς βιομηχανίας όπως παραγωγή ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανία, χαρτοβιομηχανία, παραγωγή σιδήρου και ατσάλι. Η κατανομή των δικαιωμάτων εκπομπών είναι αρμοδιότητα της κυβέρνησης και τα δικαιώματα αυτά πρέπει να μην επιβαρύνονται με φορολόγηση. Και επίσης, από μια πενταετή φάση διάρκειας για από το 2008 ως 2012 με καθολική υποχρεωτική υπακοή στο πρωτόκολλο Kyoto.

Οι βιομηχανικοί παραγωγοί υποχρεώνονται να μειώσουν τις εκπομπές στο επίπεδο που τους καθορίζεται. Ταυτόχρονα, λαμβάνουν δικαιώματα επιπλέον ρύπων. Αυτά τα δικαιώματα μπορούν να τα εμπορευτούν, είτε τα λαμβάνουν δωρεάν είτε τα έχουν παράγει μόνοι τους. Άσχετα όμως με την προέλευση τους, προσθέτουν στους παραγωγούς επιπλέον «κόστος ευκαιρίας».

Με την εφαρμογή του σχεδίου διαμορφώνεται μια τιμή κόστους εκπομπής ενός τόνου διοξειδίου του άνθρακα ή αλλιώς δικαιώματος εκπομπής CO_2. Η τιμή αυτή είναι συνάρτηση του επιπέδου εκπομπών πριν του σχεδίου, του οριακού κόστους για μείωση μιας μονάδας εκπομπών, του επίπεδου μείωσης των εκπομπών και της τιμής του δικαιώματος σε κατάσταση ισορροπίας.

Οι επιδράσεις του εν λόγω σχεδίου στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Αρχικά, στις αλλαγές του βραχυπρόθεσμου κόστους του παραγωγού. Στο κόστος των παραγωγών συμπεριλαμβάνονται δράσεις για να μειώσουν τις εκπομπές τους. Επίσης, περικλείεται το κόστος των εκπομπών που παραμένουν πάρα τις αποδοτικές τους ενέργειες και αναγκάζονται για να τις δικαιολογήσουν να χρησιμοποιήσουν από τα δικαιώματα τους. Στερούνται όμως έτσι της δυνατότητας να τα εμπορευτούν και να καλύψουν το «κόστος ευκαιρίας». Το συνολικό κόστος αυτό θα μετακυλήσει στην χονδρική τιμή πώλησης.

Επιπρόσθετα, μια ακόμη σημαντική παράμετρος είναι η «ενεργειακή σειρά της αγοράς» (merit order). Με τον όρο αυτό αναφέρεται η τάση των παραγωγών να εισρέουν στη αγορά, μόνο αν καλύπτεται το βραχυπρόθεσμο κόστος παραγωγής (STMC) με βάση τη συγκεκριμένη τεχνολογία που χρησιμοποιούν και ταυτόχρονα να ικανοποιείται η επιθυμία τους να αυξήσουν το κέρδος τους. Τονίζεται ότι το βραχυπρόθεσμο κόστος αναφέρεται σε μια δεδομένη μονάδα παραγωγής και εξαρτάται από την τεχνολογία που θεωρείται οριακή (την ακριβέστερη τεχνολογία στην ενεργειακή σειρά αγοράς). Με την κοστολόγηση των εκπομπών του άνθρακα παρατηρούνται ανακατατάξεις στην «ενεργειακή σειρά της αγοράς» (merit order). Για παράδειγμα, η παραγωγή με πρώτη ύλη το κάρβουνο εκπέμπει διπλάσια επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα από την παραγωγή με πρώτη ύλη το φυσικό αέριο. Αυτό την καθιστά πιο ακριβή από αυτή του φυσικού αερίου. Έτσι, γίνεται αυτή η οριακή τεχνολογία και επηρεάζει την τιμή χονδρικής πώλησης. Βέβαια, οι αλλαγές έχουν διαφορετικό αντίκτυπο στην μεταβολή της τιμής, θα σχολιαστεί παρακάτω όμως. Επισημαίνεται, τέλος, ότι τα αποτελέσματα αυτά εξαρτώνται από τις τιμές των καυσίμων, περιβαλλοντικούς κανονισμούς και ρυθμούς αποδοτικότητας.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει βραχυπρόθεσμες μεταβολές στα επίπεδα τιμών. Το ποσοστό των μεταβολών της χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις μεταβολές στην «ενεργειακή σειρά της αγοράς». Στην περίπτωση που δεν υπάρξει μεταβολή οριακή τεχνολογίας παρά την εφαρμογή του σχεδίου σε μια ανταγωνιστική αγορά, τότε ολόκληρη η αύξηση του κόστους του οριακού παραγωγού θα περάσει στην τιμή. Αν όμως ο οριακός παραγωγός αλλάξει, τότε παρατηρείται η τιμή να αυξάνεται ελάχιστα ή πιο έντονα και ίσως δίχως να καλύπτει την αύξηση του νέου βραχυπρόθεσμου κόστους του οριακού παραγωγού όπως προηγούμενα. Επιπρόσθετα, το πόσο θα μεταβληθεί η τιμή χονδρικής έχει να κάνει με τον τρόπο που έλαβαν τα δικαιώματα. Προσπαθώντας να το εξηγήσουμε αναφέρουμε για παράδειγμα ότι στις εκσυγχρονισμένες μεθόδους, δηλαδή αυτές που εξαρτώνται από τις προηγούμενες μεθόδους παροχής, η τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά είναι χαμηλότερη. Δηλαδή, το κόστος να χρησιμοποιήσει το δικαίωμα παρά να το διαθέσει στην αγορά είναι μικρότερο. Αυτό ερμηνεύεται ως μείωση στο κόστος παραγωγής και αναμένεται μικρότερη αύξηση της χονδρικής τιμής πώλησης. Ακόμη, εξαρτώνται από το ποια είναι η οριακή τεχνολογία και τη χρονική διάρκεια που αυτή είναι οριακή. Με άλλα λόγια, ενδέχεται η μέση αύξηση στη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας να ποικίλει με το πόσες διαφορετικές τεχνολογίες υπήρξαν. Για παράδειγμα, η μέση αύξηση της τιμής να είναι μικρότερη του βραχυπρόθεσμου οριακού κόστους STMC της επικρατέστερης τεχνολογίας μιας και η τεχνολογία αυτή δεν είναι η μοναδική στην αγορά. Παράγοντες ακόμη που διαμορφώνουν την τιμή είναι: η δύναμη των παραγωγών στην αγορά να επιβάλουν την τιμή που επιθυμούν, αν η αγορά είναι ανταγωνιστική ή όχι, οι συνθήκες της ζήτησης και εισροής νέων παραγωγών. Επιπρόσθετα, οι παραγωγοί θα μετακυλήσουν την αύξηση του κόστους τους στους

καταναλωτές ανάλογα με τη νομοθεσία της χώρας που αφορά το ανώτατο όριο επιβάρυνσης του καταναλωτή. Σε πολλές περιπτώσεις οι παραγωγοί δεν επιτρέπεται να επιβαρύνουν τους καταναλωτές με επιπλέον χρέωση ίση με την αύξηση τους κόστους τους. Και τέλος, η αγορά απαιτεί συγκεκριμένο χρόνο ώστε να προσαρμοστεί στις μεταβολές της χονδρικής τιμής πώλησης. Βέβαια, η εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδίου είναι εκ των προτέρων γνωστή και είναι αναμενόμενο να έχει ενσωματωθεί η αύξηση.

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες επιρροές στον τομέα των επενδύσεων και στα καύσιμα. Η εισαγωγή σχεδίου εκπομπών ρύπων επιδρά στις αποφάσεις των παραγωγών για επενδύσεις. Αυτό ερμηνεύεται ως μεταβολή του μακροπρόθεσμου οριακού κόστους παραγωγής (LTMC) και τελικά στην τιμή και στη ζήτηση της ενέργειας. Παρατηρείται ότι το LTMC αναδιαμορφώνει την κατανομή των διαφόρων τεχνολογιών στην «ενεργειακή σειρά» και γίνονται άλλες πιο συμφέρουσες (οι μη ρυπογόνες με CO_2). Εφόσον η τεχνολογία αυτή με χαμηλότερους ρύπους είναι πιο συμφέρουσα, αναμενόμενο είναι να αυξηθεί η ζήτηση της. Με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τιμή του καυσίμου πρώτης ύλης της και τελικώς να επέλθει αύξηση του κόστους παραγωγής της. Επιπρόσθετα, καταγράφεται ότι σε μακροπρόθεσμες αυξήσεις οι καταναλωτές προσαρμόζουν τη ζήτηση τους, εν αντίθεση με τη βραχυπρόθεσμη συμπεριφορά τους. Οι καταναλωτές προχωρούν σε μείωση της ζήτησης ενέργειας, με άμεσο αποτέλεσμα στην παραγωγή, στο κέρδος των παραγωγών και στα καύσιμα ως πρώτη ύλη.

Συνοψίζοντας τις επιδράσεις του σχεδίου καταλήγουμε ότι:

- Η τιμή της χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί, διότι το κόστος του οριακού παραγωγού αυξάνεται λόγω της επιπλέον επιβάρυνσης από τη μη κερδοφόρα χρήση των δικαιωμάτων εκπομπών. Το μέγεθος της αύξησης εξαρτάται από το πόσο ευαίσθητος είναι ο παραγωγός για τις εκπομπές και τη μέθοδο διανομής των δικαιωμάτων.
- Η λιανική τιμή πώλησης της ενέργειας θα αυξηθεί, εφόσον ο παραγωγός επιθυμεί να καλύψει το κόστος του. Βέβαια, η επιβάρυνση που θα υποστούν οι καταναλωτές θα καθοριστεί από την ισχύουσα νομοθεσία προστασίας των καταναλωτών.
- Η ζήτηση για ενέργεια θα μειωθεί εντονότερα σε βραχυπρόθεσμο χρόνο.
- Εξαιτίας του ορίου εκπομπών η παραγωγή υψηλών εκπομπών θα μειωθεί, εφόσον δεν είναι πια συμφέρουσα.
- Η «καθαρή» παραγωγή ενδέχεται να αυξηθεί και εξαρτάται από το ποσοστό μείωσης της ζήτησης.
- Οι αποφάσεις για επενδύσεις ποικίλουν. Σίγουρα, οι καταναλωτές θα επενδύσουν σε τεχνολογίες πιο αποδοτικές γιατί ήδη αναγκάζονται να πληρώσουν παραπάνω. Οι παραγωγοί από την άλλη έχουν κίνητρο να επενδύσουν σε νέες ανανεώσιμες πήγες με μικρότερες εκπομπές.
- Ο στόχος μείωσης των εκπομπών επιτυχαίνεται.

Κατανεμημένες επιπτώσεις του ευρωπαϊκού πλάνου εκπομπής CO_2.

Το κέρδος των παραγωγών και καταναλωτών επηρεάζεται εμμέσως από την εφαρμογή του συγκεκριμένου σχεδίου. Διευκρινίζεται ότι δεν λάβαμε υπόψη περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη της εφαρμογής του σχεδίου, ούτε τα αποτελέσματα αυτού στην αγορά δικαιωμάτων εκπομπών ή στην αγορά καυσίμων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή του EU ETS θα αυξήσει τη τιμή πώλησης και μακροπρόθεσμα ο καταναλωτής θα μειώσει τη ζήτηση. Αυτό θα έχει αντίκτυπο στο κέρδος των παραγωγών. Αυτοί που παράγουν με αυξημένες εκπομπές, χάνουν διότι έχουν αυξημένο κόστος παραγωγής. Αντίθετα, εκείνοι που παράγουν με χαμηλότερες εκπομπές επωφελούνται από την αυξημένη τιμή χονδρικής μιας και παράγουν με μικρότερο κόστος. Όμως, οι παραγωγοί εξετάζονται αθροιστικά. Οπότε ανάλογα με το κόστος των εκπομπών του άνθρακα, της σχέση του κόστους εκπομπής με το οριακό κόστος των παραγωγών και την κλίση της καμπύλης ζήτησης (ποσοστό μείωσης δηλαδή) καταλήγουμε αν επηρεάζεται θετικά ή αρνητικά το κέρδος των παραγωγών.

Ότι αφορά τους καταναλωτές φαίνεται ότι απορροφούν από τα διαθέσιμα πλεονάσματα τους για να καλύψουν τους ανάγκες τους. Άρα, τα πλεονάσματα τους συρρικνώνονται. Ουσιαστικά ζημιώνονται γιατί καταναλώνουν λιγότερο σε ακριβότερες τιμές.

Η εφαρμογή του σχεδίου μείωσης εκπομπής ρύπων του άνθρακα σε χώρες που εισάγουν ή εξάγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Μια χώρα εισάγει (εξάγει), αν και μόνο ο εθνικός οριακός παραγωγός παράγει ακριβότερα (φτηνότερα) από την διεθνή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας της ποσότητας που ζητείται σε εθνικό επίπεδο. Οι εισαγωγές-εξαγωγές διευκρινίζεται ότι περιορίζονται από μια ανώτατη ποσότητα. Εύκολα διαπιστώνεται ότι η χονδρική τιμή της ενέργειας τόσο στην χωρά που εισάγει όσο στην χώρα που εξάγει, αυξάνεται εξαιτίας του κόστους των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Η αύξηση όμως έχει να κάνει με το βαθμό ευαισθησίας του οριακού παραγωγού στις δύο χώρες. Συνεχίζοντας την ανάλυση των επιρροών στην αγορά της εισάγουσας χώρας, παρατηρείται ότι η λιανική τιμή θα αυξηθεί και έτσι οδηγούμαστε σε μειωμένη κατανάλωση. Βέβαια η συμβατική παραγωγή ενέργειας της χώρας που εισάγει είναι αμφίβολο πως θα επηρεαστεί. Εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ της αύξησης της χονδρικής τιμής και μείωσης της ζήτησης των συμφερουσών ανανεώσιμων πηγών. Αντίθετα, η «καθαρή» παραγωγή των χωρών που εισάγουν πιθανόν να αυξηθεί. Επιπλέον, οι επενδύσεις για αποδοτικότερη τελική χρήση και για δημιουργία νέων πηγών ενέργειας θα αυξηθούν. Ακόμη, οι εκπομπές στην χώρα που εισάγει μειώνονται, εν αντιθέσει με τη χώρα που εξάγει.

Ανακεφαλαίωση

Η κοστολόγηση των εκπομπών του CO_2 του ευρωπαϊκού σχεδίου αντικατοπτρίζεται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόσθετο κόστος των εγκαταστάσεων που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα. Το αυξημένο αυτό κόστος των παραγωγών προκαλεί αύξηση του βραχυπρόθεσμου οριακού κόστους παραγωγής. Σε συνδυασμό με τις υψηλότερες τιμές εκπομπών CO_2, παρατηρούνται μεταβολές στην «ενεργειακή σειρά της αγοράς». Οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσοστό μεταβολής σχετίζεται με το βραχυπρόθεσμο οριακό κόστος του οριακού παραγωγού ενέργειας. Παράλληλα, επηρεάζεται το μακροπρόθεσμο κόστος παραγωγής. Οι παρατεταμένες αυξημένες τιμές της ενέργειας θα καταλήξει σε μείωση της ζήτησης.

Ο συνδυασμός μεταβολής της τιμής και ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας επιδρά στα κέρδη παραγωγών και στα πλεονάσματα των καταναλωτών. Οι παραγωγοί με χαμηλές εκπομπές επωφελούνται, ενώ οι παραγωγοί να υψηλές εκπομπές τείνουν να ζημιώνονται. Οι νέοι παραγωγοί στην αγορά δεν ωφελούνται, διότι στο κόστος τους θα περικλείεται το κόστος εκπομπών τη στιγμή εισαγωγής τους στην αγορά. Επίσης, οι καταναλωτές αναγκάζονται να πληρώσουν ακριβότερα μικρότερη ποσότητα ενέργειας.

Διευκρινίζεται όμως ότι τα αποτελέσματα του EU ETS μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες της αγοράς. Πιο αναλυτικά, εξαρτώνται από το βαθμό ελευθερίας της αγοράς, το νομοθετικό περιβάλλον, το βαθμό ανταγωνισμού και τους μεθόδους διανομής δικαιωμάτων εκπομπών CO_2 .

Επιπρόσθετα στο σημείο αυτό, επισημαίνεται ότι το ευρωπαϊκό σχέδιο μείωσης εκπομπών ρύπων CO_2 έχει σαν συνέπεια την ελάττωση της τιμής του άνθρακα κάνοντας την παραγωγή άνθρακα ιδανικότερη από πλευράς κόστους. Ενδέχεται, λοιπόν όπως διαφαίνεται στην έρευνα του Karsten Neuhoff με ακριβή τίτλο «Implementing the EU Renewables Directive», να παρουσιαστεί κίνδυνος να μην επιτευχθεί ένας αυστηρός στόχος μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Με την υιοθέτηση, όμως, μιας κατεύθυνσης προτίμησης για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας εξασφαλίζεται ο στόχος του ευρωπαϊκού σχεδίου μείωσης εκπομπών. Ειδικότερα η ευρωπαϊκή κοινότητα, τον Δεκέμβριο του 2008, ομόφωνα συμφώνησε στην υιοθέτηση κατευθυντήριας γραμμής για την απόκτηση σημαντικής θέσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγική διαδικασία διαβεβαιώνοντας τους εμπλεκόμενους ότι θα χαίρουν της ίδιας οικονομικής προόδου και χρησιμότητας ενέργειας. Στην γραμμή αυτή, υποχρεώνουν όλες τις χώρες – μελή να επαυξήσουν το μερίδιο ενέργειας που προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από 6% σε 20% μέχρι το 2020. Προσθέτουμε στο σημείο αυτό ότι σύμφωνα με τον Stern 2006, η αύξηση του μεριδίου παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί το μοναδικό τρόπο επίτευξης του στόχου μείωσης των εκπομπών μιας χώρας.

Πιο αναλυτικά οι χώρες – μέλη, πιστοί στις υποχρεώσεις τους, πρέπει να αναλάβουν πολιτικές που περικλείουν διαδικασίες σχεδιασμού, που αποτιμούν τα σχέδια της αγοράς ενέργειας, που παρέχουν δίκτυα και υποδομές προσφοράς και τέλος εμπεριέχουν στήριξη για να περιοριστεί το ρίσκο οικονομικής επιδότησης επενδύσεων σε ανανεώσιμων πηγές. Όπως εύκολα παρατηρείται, οι εν λόγω πολιτικές εσωκλείουν πολλές παραμέτρους και ο κίνδυνός αποτυχίας αυξάνεται. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικοί δείκτες και στόχοι που υπολογίζουν την αποτελεσματική και περιεκτική εφαρμογή των πολιτικών αυτών, που επαυξάνουν το μερίδιο ευθύνης της πολιτικής ηγεσίας και λοιπών πολιτιστικών παραγόντων και τελευταία, επιτρέπουν στον ιδιωτικό τομέα να αντιλαμβάνεται την αξία του να επενδύσει νωρίτερα. Οι δείκτες αυτοί, που επιτυχώς παρουσιάστηκαν από την εφαρμογή European Commission's renewable electricity Directive 2001/77/EC, επιτρέπουν στις κυβερνήσεις των χωρών - μελών να πληροφορούν με διαφάνεια την Ευρωπαϊκή κοινότητα.

Οι δείκτες πολιτικής απέκτησαν μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Αντλώντας παραδείγματα από την πρόσφατη βιβλιογραφία, όπως Lester and Neuhoff για τη διαπραγμάτευση του Public Service Agreements στην Αμερική και του Poverty Reduction Strategy Papers του IMF στην Ευρώπη, διαπιστώθηκε η αξία των δεικτών αυτών για τον έλεγχο της εφαρμογής στόχων ανανεώσιμης ενέργειας. Επισημαίνεται βέβαια ότι έχουν νόημα, εφόσον και αν αντικατοπτρίζουν τις επιδράσεις των επενδυτικών δράσεων και την γενικότερη κατανόηση του πλαισίου πολιτικής. Δύσκολα όμως ανταποκρίνεται στις δύο αυτές προϋποθέσεις.

Ο σχεδιασμός τους στηρίζεται στην πρόβλεψη της τεχνολογικής δυναμικότητας, στην αποδοτικότητα και στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Με την προϋπόθεση ότι οποιαδήποτε μετρικά αν χρησιμοποιηθούν θα είναι συμβατά με τον εθνικό στόχο ανανεώσιμης ενέργειας, οι δείκτες έχουν την ικανότητα να εκτιμήσουν το ακριβές ποσοστό της επενδυτικής δράσης που ανταποκρίνεται στο πλαίσιο της πολιτικής. Οι δείκτες είναι χρήσιμοι σε πολλούς από τους δραστηριοποιούμενους στην αγορά. Οι παραγωγοί έχουν τη δυνατότητα τα επίπεδα μελλοντικής ζήτησης, οι επενδυτές να σιγουρευτούν ότι το πλαίσιο θα αυξήσει τη ζήτηση επενδυτικών επιλογών σε ανανεώσιμες. Οι ιθύνοντες του πλαισίου και οι κυβερνήσεις μπορούν να κρίνουν αν επέλεξαν το ορθό πλαίσιο και στην περίπτωση που όχι, αν έχουν την επιλογή με μικρές αλλαγές να το αξιοποιήσουν προς το καλύτερο.

2.2 Συνύπαρξη του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών με το σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας

Αρκετές φορές παρατηρείται χώρες να περιορίζονται από δύο «εργαλεία άσκησης πολιτικής», όπως για παράδειγμα αυτό του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και το σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας. Αξίζει, λοιπόν, να εξετάσουμε πως θα επηρεαστεί και εάν θα επηρεαστεί ο ρόλος καθενός από τα «εργαλεία

πολιτικής». Στα πλαίσια αυτά παραθέτουμε το παράδειγμα της συνύπαρξης των προαναφερθέντων σχεδίων, όπως αυτό εξετάστηκε αναλυτικώς από «Interaction of the EU ETS with Green and White Certificates Schemes» του NERA και «White Certificates Schemes: Economic Analysis and interactions with EU ETS» των Steve Sorell, David Harisson, Daniel Radov, Per KLevas, Andrew Foss. Πιο ειδικά, το EU ETS επιβάλλει κανονισμούς για τα επίπεδα εκπομπής CO_2 και περιορισμούς των γενικών εκπομπών. Το σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας, τώρα, καθορίζει ένα ποσοστό εξοικονόμησης που πρέπει να επιτευχτεί κάθε δεδομένη χρονική περίοδο. Ο στόχος αυτός προσεγγίζεται με πρωτοβουλίες για αποδοτικότερη χρήση της διαθέσιμης ενέργειας και συνεπώς περιορισμός της κατανάλωσης.

Τα σχέδια πιστοποιητικών εξοικονόμησης ενέργειας αποτελούν «εργαλεία άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής» και έχουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής. Στην Ευρώπη πρόσφατα πολλές χώρες έχουν εφαρμόσει ένα σύστημα πιστοποιητικών εξοικονόμησης ενέργειας και άλλες εξετάζουν σοβαρά να προχωρήσουν στην υιοθέτηση τους. Για παράδειγμα, η Ιταλία ξεκίνησε ένα πρόγραμμα το 2005 και η Γαλλία ένα χρόνο αργότερα. Η Μεγάλη Βρετανία έχει συνδυάσει την υποχρέωσή του σχεδίου για εξοικονόμηση ενέργειας με δυνατότητα εμπορικών συναλλαγών των πιστοποιητικών εξοικονόμησης ενέργειας. Η Δανία και οι Κάτω Χώρες εξετάζουν σοβαρά την εισαγωγή ενός σχεδίου πιστοποιητικών εξοικονόμησης ενέργειας στο εγγύς μέλλον.

Ο στόχος εφαρμογής ενός τέτοιου σχεδίου (White Certificates Schemes) είναι να εξοικονομηθεί ένα ποσοστό ενέργειας σε δεδομένη χρονική περίοδο. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με στροφή προς αποδοτικότερες τεχνολογίες χρήσης. Βέβαια, μπορούν να υποκρύπτονται και άλλοι στόχοι. Όπως δημιουργία αποθέματος ασφαλείας (μείωση της εγχώριας παραγωγής και αύξηση εισαγωγών), περιβαλλοντικής σημασίας (μείωση των κοστών που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση), πολιτικής τεχνολογίας (στήριξη αποδοτικών τεχνολογιών που δεν είναι ανταγωνιστικές) και διαχείρισης των αποτυχιών της αγοράς (να ξεπεραστούν δυσκολίες εξαιτίας της μη ουσιαστικής επικοινωνίας πελατών και πωλητών).

Ένα τέτοιο σχέδιο αποτελείται από τέσσερα κύρια συστατικά. Πρώτον, τα πιστοποιητικά εξοικονόμησης ενέργειας που αντιπροσωπεύουν μια μετρήσιμη και πιστοποιημένη εξοικονόμηση που οφείλεται σε αποδοτικές δράσεις και τα οποία μπορούν να εμπορευτούν. Δεύτερον, μια νομική υποχρέωση προς τις ομάδες να επιτύχουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο μετρήσιμης και πιστοποιημένης εξοικονόμησης. Στο τέλος της περιόδου, οι ομάδες επιβραβεύονται με πιστοποιητικά ανάλογα με την εξοικονόμηση που πέτυχαν. Τρίτον, επιλέγονται οι ομάδες εκείνες που αναλαμβάνουν τα αποδοτικότερα μέτρα. Τέταρτο και τελευταίο, περικλείει μηχανισμούς εμπορίας των πιστοποιητικών. Αυτό ώστε οι ομάδες να έχουν την επιλογή να αγοράσουν πιστοποιητικά από άλλες ομάδες αντί να εξοικονομήσουν.

Οι επενδύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας έχουν δυο βασικές επιδράσεις. Από τη μια, μειώνεται η ποσότητα ενέργειας για το ίδιο επίπεδο παροχής υπηρεσιών. Από την άλλη, οι καταναλωτές αυξάνουν την κατανάλωση μιας και οι υπηρεσίες αυτές γίνονται αποδοτικότερες. Η συμπεριφορά αυτή καλείται rebound effect και συμβάλλει στη μείωση των πλεονασμάτων που εξασφαλίστηκαν από την επένδυση αυτή. Τονίζεται ότι μια μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει στη δημιουργία πλεονάσματος προσφερόμενης ενέργειας και στη διαπεραίωση των περιβαλλοντικών στόχων του σχεδίου εξοικονόμησης. Όμως, μια αύξηση της κατανάλωσης ενδέχεται να είναι επιθυμητή για κοινωνικούς λόγους (βελτίωση του επιπέδου ζωής κάποιων ομάδων όπως νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος). Φαίνεται ότι υπάρχει μια σύγκρουση μεταξύ των στόχων του.

Επιστρέφοντας στην ανάλυση της επιρροής της διπλής εφαρμογής των σχεδίων στην αγορά, διευκρινίζουμε πως τα «εργαλεία άσκησης πολιτικής» δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα. Αρχικά, η εθνική αγορά θα συμμορφωθεί με τις υποχρεώσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι, διαμορφώνονται οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά υπό την επιρροή του σχεδίου εξοικονόμηση ενέργειας. Αρνητικές μεταβολές θα παρατηρηθούν στη χονδρική και πιθανόν στη λιανική τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Διευκρινίζεται πως η λιανική τιμή ίσως να αυξηθεί αν αναλάβουν το κόστος εφαρμογής του σχεδίου οι καταναλωτές. Ωστόσο, η μεταβολή της τιμής των πιστοποιητικών εξοικονόμησης δεν διευκρινίζεται. Η τιμή τους επηρεάζεται από το μέγεθος της κρατικής επιδότησης ή καλύτερα ανά μονάδα επιδότηση για τη αγορά ενός αποδοτικού μέτρου και από τη διαχείριση των επιπρόσθετων αποθεμάτων εξοικονόμησης. Αναλυτικότερα, αν η καμπύλη προσφοράς των αποδοτικών μέτρων είναι γραμμική δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στην επιδότηση, άρα ούτε στην τιμή αυτών. Σε μια ανελαστική καμπύλη προσφοράς, η αύξηση της τιμής των αποδοτικών μέτρων αυξάνει την επιδότηση και την τιμή των πιστοποιητικών. Αντίθετα αποτελέσματα καταγράφονται σε μια ελαστική προσφορά αποδοτικών μέτρων. Εκτός αυτού, η αύξηση της τιμής των μέτρων σε μια δυναμική βάση ισοδυναμεί με διατήρηση της τιμή των πιστοποιητικών, μιας και ο στόχος εξοικονόμησης είναι δύσκολο να επιτευχτεί. Αντιστρόφως ανάλογες επιδράσεις παρατηρούνται σε μια στατιστική βάση.

Μετέπειτα εφαρμογή πλάνου εκπομπών σε αγορά με σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας σε εξέλιξη.

Όταν εφαρμοστεί το σχέδιο εκπομπών θα επέλθουν αναδιαμορφώσεις στις τιμές ενέργειας της αγοράς. Η πρώτη άμεση επίδραση είναι η αύξηση της χονδρικής και λιανικής τιμής ενέργεια. Εξαιτίας των αυξήσεων αυτών, γίνεται εντονότερη η ζήτηση για εξοικονόμηση ενέργειας. Το σχέδιο εκπομπών επηρεάζει ακόμη την τιμή των πιστοποιητικών εξοικονόμησης. Το αντίκτυπό του όμως εξαρτάται από τη φύση της καμπύλης προσφοράς των αποδοτικών μέτρων και από τη λογική διαχείρισης της πρόσθετης εξοικονόμησης που υιοθετεί το σχέδιο εξοικονόμησης. Για παράδειγμα, μια δυναμική λογική διαχείρισης δεν διευκολύνει τη μεταβολή της τιμής των

πιστοποιητικών. Με άλλα λόγια, η αύξηση της λιανικής τιμής της ενέργειας που παρέσυρε σε άνοδο την τιμή των αποδοτικών μέτρων, δεν μεταβάλλει την τιμή των πιστοποιητικών. Σαν να μην υπήρξε καθόλου η ανάγκη για εξοικονόμηση που ορίζει το σχέδιο εκπομπών. Οπότε σε μια τέτοια περίπτωση θα μπορούσε να αναλυθεί η επίδραση κάθε ενός σχεδίου χωριστά και στο τέλος να συνυπολογιστούν. Τώρα αν ακολουθηθεί μια πιο στατική λογική διαχείρισης, η επιπρόσθετη ανάγκη για εξοικονόμηση που δημιουργεί το σχέδιο εκπομπών, δεν επαρκεί να καλύψει το επίπεδο εξοικονόμησης που ορίζεται από το σχέδιο εξοικονόμησης. Για αυτό, η τιμή των πιστοποιητικών εξοικονόμησης διαμορφώνεται χαμηλότερα.

Οι έμμεσες συνέπειες της εφαρμογής του σχεδίου εκπομπών στην αγορά που έχει ήδη εφαρμόσει σχέδιο εξοικονόμησης συνοψίζονται ως εξής:

- Η παραγωγή ενέργειας μη «καθαρών» μορφών μειώνεται, λόγω της μειωμένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας .
- Η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές μορφές δεν επηρεάζεται από κανένα από τα δύο σχέδια μιας και έχουν χαμηλό οριακό κέρδος και με τη μείωση της ζήτησης να γίνουν αυτές οι οριακές παραγωγές.
- Οι καταναλωτές έχουν μεγαλύτερη ανάγκη να επενδύσουν σε αποδοτικότερες συσκευές εξαιτίας των υψηλότερων τιμών λιανικής.
- Οι επενδύσεις σε νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αμφίβολες. Το κόστος τους παραμένει αμετάβλητο και ιδιαίτερα υψηλό, έτσι η αύξηση της χονδρικής τιμής ίσως να μην αποτελέσει κίνητρο επένδυσης.
- Τέλος, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται.

Επιπλέον επιπτώσεις της διπλής εφαρμογής των σχεδίων εκπομπών CO_2 και εξοικονόμησης ενέργειας.

Διαπιστώνεται πως το κέρδος των παραγωγών των αποδοτικών μέτρων επηρεάζεται θετικά με την εφαρμογή του σχεδίου εκπομπών. Ακόμη, επηρεάζει τους παραγωγούς ενέργειας διαχωρίζοντας τους με τα επίπεδα ρύπων που εκπέμπουν. Με άλλα λόγια, ζημιώνονται όσοι παραγωγοί εκπέμπουν υψηλούς ρύπους, ενώ εκείνοι των χαμηλών ρύπων επωφελούνται. Τους δίνεται η δυνατότητα να αποσβήσουν τη ζημία εφαρμογής του σχεδίου εξοικονόμησης με το όφελος που τους προσφέρει το σχέδιο εκπομπών ρύπων. Από την άλλη πλευρά, οι καταναλωτές ίσως να μην επηρεαστούν. Το βέβαιο είναι ότι επηρεάζονται αρνητικά τα πλεονάσματα τους.

Η διπλή εφαρμογή του σχεδίου μείωσης εκπομπής ρύπων του άνθρακα και σχεδίου εξοικονόμησης σε χώρες που εισάγουν ή εξάγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Συνεχίζοντας εξετάζουμε την επίδραση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας που πραγματοποιεί εισαγωγές ενέργειας. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι οι επιρροές τους συγκρίνονται με εκείνες της μονής εφαρμογής του σχεδίου εκπομπών CO_2. Αρχικά, το επίπεδο των εισαγωγών μειώνεται εξαιτίας της περιορισμένης ζήτησης. Επίσης, η τιμή της λιανικής τιμής μεταβάλλεται αυξητικά και πλέον δεν

ισούται με τη διεθνή τιμή της ενέργειας. Ωστόσο, τα επίπεδα της εγχώριας παραγωγής παραμένουν αμετάβλητα και της χώρας από την όποια πραγματοποιεί εισαγωγές μειώνονται. Τέλος, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται στην εξαγωγέα χώρα και παραμένουν στα ίδια επίπεδα στη εισαγωγέα.

Ανακεφαλαίωση

Στην περίπτωση της διπλής εφαρμογής των «εργαλείων άσκησης πολιτικής» είναι σημαντικό να έχει καθοριστεί νομοθετικά ο τρόπος που θα διαχειρίζεται η αγορά την πρόσθετη εξοικονόμηση (δυναμική ή στατική λογική). Έχοντας διασαφηνίσει την παράμετρο αυτή είναι πιο εύκολό να προβλεφθεί η μεταβολή της τιμής των πιστοποιητικών εξοικονόμησης εξαιτίας της μεταβολής της λιανικής τιμής της ενέργειας. Ανακεφαλαιώνοντας πρέπει να διευκρινιστεί πως με την εφαρμογή του σχεδίου εκπομπών CO_2, το σχέδιο εξοικονόμησης ενέργειας παύει να συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών του CO_2. Η αλληλεπίδραση αυτή πρέπει να εξετάζεται, όταν υπάρχει στόχος μείωσης εθνικών ρύπων.

2.3 Βασικές αρχές επιλογής προτεινόμενων στρατηγικών συμμόρφωσης με το Ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται και αναλύονται τα κυριότερα κριτήρια με τα οποία οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας μελετούν και αποφασίζουν για τις απαραίτητες στρατηγικές τους. Οι παραγωγοί αναθέτουν σε αρμόδιους σχεδιαστές στρατηγικών να διαμορφώσουν τις πιθανές δυνατές επιλογές συμμόρφωσης με κρίσιμη παράμετρο την ταυτόχρονη ικανοποίηση του στόχου του EU ETS αλλά και την κερδοφορία. Ο Frederic Georges Brodach στην έρευνα «The value of tradable Emission Permits – Development and Exemplary Application of a Valuation Method Based on Internal Opportunity Costs» υποστηρίζει πως οι εγκαταστάσεις παραγωγής λαμβάνοντας τους περιορισμούς τους οφείλουν να καταλήξουν σε μια στρατηγική συμμόρφωσης. Οπότε πρέπει να εξετάσουν μια σειρά από κριτήρια όπως:

- Νομοθετικό πλαίσιο (Grandfathering/auctioning). Το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών επέλεξε το grandfathering, δηλαδή το εθνικό πρόγραμμα διανομής μοίρασε τα δικαιώματα εκπομπών δωρεάν βασιζόμενο στην μόλυνση που παρήγαγε η κάθε επιχείρηση την προηγούμενη χρονιά και στους στόχους του σχεδίου.
- Πραγματική και μελλοντική εσωτερική τιμή των δικαιωμάτων.
- Πραγματική και μελλοντική τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά.
- Εισόδους.
- Διακυμάνσεις της τιμής των αποτελεσμάτων.
- Δυνατότητα μετατροπής της τεχνολογικής διαδικασίας.

Ο αντικειμενικός στόχος κάθε επιχείρησης είναι βελτιστοποίηση των δικαιωμάτων που κατέχουν. Με άλλα λόγια, πρέπει να αποφασίσουν πόσα από τα δικαιώματα θα πουλήσουν, εφόσον έχουν μειώσει τις εκπομπές ή την παραγωγή τους και πόσα από αυτά θα διατηρήσουν ή θα αγοράσουν για μελλοντική συμμόρφωση. Η απόφαση στρατηγικής όμως περικλείει την έννοια της αβεβαιότητας. Ένας παράγοντας αβεβαιότητας είναι η τιμή των δικαιωμάτων. Εξαιτίας της αβεβαιότητας προτιμάται η διατήρηση των δικαιωμάτων. Εκτός όμως αυτού επιλέγουν να διατηρήσουν τα δικαιώματα τους είτε για να συμμορφωθούν με το στόχο, είτε για να αποφύγουν το ρίσκο χαμηλής τιμής των νέων δικαιωμάτων που θα λάβουν μελλοντικά ή είτε για να επωφεληθούν μελλοντικά από την πώληση τους. Η ενέργεια τους αυτή οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος μελλοντικής εφαρμογής του σχεδίου όπως στη δεύτερη φάση του σχεδίου (2008-2012). Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι η τιμή ενός δικαιώματος στο τέλος μιας περιόδου εφαρμογής τείνει να μηδενιστεί και επίσης περικλείει «κόστος μεταφοράς» που στην περίπτωση του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών λαμβάνεται μηδαμινό.

Επιπρόσθετα, κάθε απόφαση που αφορά στα δικαιώματα δηλαδή στις επιλογές ιδιόχρησης αυτών σε μέτρα και επενδύσεις για να συμμορφωθούν με το στόχο του σχεδίου ή στην αγορά και πώληση αυτών υποχρεώνεται να ερευνήσει τις παρακάτω παραμέτρους:

- «Υπερβαίνοντες εκπομπές». Αφορά με ποιο τρόπο θα υλοποιηθεί το ποσοστό μείωσης των εκπομπών που ορίζει ο στόχος. Είτε μειώνοντας το επίπεδο παραγωγής, είτε επενδύοντας σε αποδοτικότερη τεχνολογία είτε αγοράζοντας επιπλέον δικαιώματα.
- «Πλεόνασμα δικαιωμάτων λόγω επίτευξης μεγαλύτερης μείωσης». Το δίλλημα που αντιμετωπίζουν συνίσταται στο να διατηρήσουν τα δικαιώματα ή να τα χρησιμοποιήσουν για να αυξήσει την παραγωγή.
- «Συνολικό πλεόνασμα δικαιωμάτων».
- «Διανεμημένα δικαιώματα».
- «Πλεόνασμα αποθηκευμένης ενέργειας». Την πλεονάζουσα αυτή ενέργεια που διαθέτουν θα επιλέξουν να τη διαθέσουν στην αγορά με το να εξαργυρώσουν δικαιώματα από το απόθεμα τους ή να την διατηρήσουν.
- «Εξισορρόπηση». Με τον όρο αυτό γίνεται λόγος για την ισορροπία του κόστους επένδυσης με το εσωτερικό όφελος της επιχείρησης από την επένδυση αυτή.

Οι παραπάνω παράμετροι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και θα μπορούσανε να τις εξετάσουνε με τρείς δείκτες:

1. PMP, η τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά που εξαρτάται από τον αριθμό των διαθέσιμων δικαιωμάτων, την προσφορά και ζήτηση αυτών και το abatement cost ή «το κόστος συμμόρφωσης με την απαίτηση περιορισμού των εκπομπών».

2. MAC, το «οριακό κόστος επένδυσης» που είναι συνάρτηση του κόστους επένδυσης και της αποτελεσματικότητας της υλοποίησης.
3. IOC, το «εσωτερικό κόστος ευκαιρίας» που συνδέεται με την πλεονάζουσα αποθηκευμένη ενέργεια, τεχνολογικά χαρακτηριστικά και την μέθοδο διανομής των δικαιωμάτων.

Τέλος, προτού καταλήξουνε όμως στο σημείο επιλογής της στρατηγικής συμμόρφωσης, εξετάζουνε το μακροοικονομικό πλαίσιο της αγοράς και πως επιδρά στην κάθε επιχείρηση. Πιο αναλυτικά ελέγχεται :

- Η δυνατότητα αποθήκευσης της παραχθείσας ενέργειας που εξαρτάται από τεχνολογικά χαρακτηριστικά, από την εξέλιξη της τεχνολογίας της και κόστη οργάνωσης.
- Το κόστος παραγωγής όπως τις τιμές των καυσίμων, εφόσον η ενέργεια που προσφέρεται εξαρτάται από αυτό.
- Η ενέργεια που ζητείται και η οποία συνδέεται με μικροοικονομικούς δείκτες όπως ο ρυθμό ανάπτυξης, με κοινωνικούς όπως η περιβαλλοντική συνείδηση και με φυσικά φαινόμενα όπως οι καιρικές συνθήκες.
- Το γεγονός ότι η ζητούμενη ενέργεια είναι συνδεδεμένη με την προσφερόμενη ποσότητα σε μια ελεύθερη αγορά.
- Ο αριθμός των δικαιωμάτων προς συμμόρφωση καθορίζεται από το ύψος των εκπομπών που παράγουν .
- Την πιθανή μεταβολή της τεχνολογίας εξαιτίας της υψηλής τιμής των δικαιωμάτων. Δηλαδή να προτιμήσουν μια πιο συμφέρουσα τεχνολογία κρίνοντας με την πρώτη ύλη της. Και έτσι τελικά, η ζήτηση για ενέργεια να αυξηθεί.

Συνοψίζοντας, η επιλογή μιας στρατηγικής συμμόρφωσης με το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών CO_2 απαιτεί την διερεύνηση ορισμένων κρίσιμων σημείων. Πρωταρχικής σημασίας είναι η διασαφήνιση του νομοθετικού πλαισίου εφαρμογής του σχεδίου. Στη συνέχεια αναλύεται το μικροοικονομικό πλαίσιο της αγοράς και πως επηρεάζεται η προσφερόμενη και ζητούμενη ποσότητα από την εφαρμογή του σχεδίου. Επιπλέον, εξετάζεται η εξέλιξη της τεχνολογίας και τέλος οι τιμές των δικαιωμάτων. Όμως ,οι τιμές τους είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν εκ των προτέρων. Για αυτό το λόγο προσθέτουν στο πρόβλημα σχεδιασμού στρατηγικής ένα βαθμό αβεβαιότητας. Ωστόσο, καταβάλλεται προσπάθεια πρόβλεψης αναλύοντας παραμέτρους που αφορούν τη διαχείριση των δικαιωμάτων.

2.4 Διαδικασία σχεδιασμού των στρατηγικών συμμόρφωσης με το Ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω γραμμικού προβλήματος

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η υλοποίηση του στόχου του ευρωπαϊκού σχεδίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι δυνατή είτε παράγοντας με πιο περιβαλλοντικό τρόπο και επενδύοντας σε αποδοτικότερες τεχνολογίες είτε επιλέγοντας νέες επιχειρήσεις που η πρώτη ύλη τους είναι ακριβότερη αλλά δεν ρυπαίνει. Ο δεύτερος τρόπος δηλαδή επιφέρει μεταβολές στην «ενεργειακή σειρά της αγοράς» (merit order). Οπότε πρέπει να ληφθεί απόφαση για το ποσό επένδυσης στον τρόπο υλοποίησης του στόχου της που θα υιοθετήσει κάθε επιχείρηση και επίσης για το σχέδιο που θα ακολουθήσει.

Η προσπάθεια σχεδιασμού στρατηγικών συμμόρφωσης με το ευρωπαϊκό σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα περικλείει ορισμένες καθοριστικές προϋποθέσεις. Ανάμεσα σε αυτές βρίσκεται η θέση της επιχείρησης της αγοράς, η χρονική περίοδος συμμόρφωσης, οι εταιρικοί στόχοι του συνόλου που ανήκει και το μικροοικονομικό περιβάλλον της. Τα στοιχεία αυτά συνθέτουν τη βασική αρχή κερδοφορίας της επιχείρησης. Με άλλα λόγια, την επιλογή του ύψους της παραγωγής που ταυτόχρονα αποφέρει κέρδη και επιτρέπεται από τους εταιρικούς κανόνες. Διαφορετικά, θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως το σύνολο των περιορισμών που αντιμετωπίζει η επιχείρηση και οι οποίοι επηρεάζουν την παραγωγή της. Όπως και να έχει, ο στόχος της παραμένει πάντα το κέρδος. Για το λόγο αυτό, τα μεταβλητά κόστη που σχετίζονται με την τεχνολογία αποτελούν σημαντικά παράμετρος στην παραγωγή στρατηγικών.

Επιπρόσθετα, αξιόλογο στοιχείο στον σχεδιασμό στρατηγικών είναι η μορφή της ζήτησης του προϊόντος. Πιο ειδικά, σε μια στοχαστική ζήτηση υπάρχει αβεβαιότητα υπερπαραγωγής ή υποπαραγωγής. Είναι κατανοητό, λοιπόν, ότι ο παράγοντας αυτός προσθέτει ρίσκο. Η επιχείρηση βρίσκεται αντιμέτωπη με πιθανό επιπρόσθετο κόστος. Και τέλος, αποδείχτηκε πρόσφατα ότι η επίδραση των περιβαλλοντικών αρχών στην τεχνολογική διαδικασία και στην επιλογή των προϊόντων αποτελεί ένα ακόμη παράγοντα που πρέπει να εξετάζεται.

Οι σχεδιαστές, όπως υποστηρίζει ο Frederic G. Brodach, λειτουργούν έχοντας στο σκεπτικό τους την αβεβαιότητα που οφείλεται στην έλλειψη πληροφόρησης. Επίσης, λαμβάνουν σοβαρά υπόψη το χρονικό περιθώριο επιλογής επένδυσης και απόφασης του σχεδίου που τους αποτρέπουν να επενδύσουν σε μια σχεδόν ευνοϊκή απόφαση. Ο κεντρικός στόχος τους είναι ο ίδιος που αναφέρθηκε παραπάνω δηλαδή η μεγιστοποίηση του κέρδους των παραγωγών. Από μια άλλη πλευρά όμως, μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ελαχιστοποίηση των μεταβλητών κοστών. Επισημαίνεται εδώ ότι τα πάγια κόστη δεν λαμβάνονται υπόψη στην υλοποίηση του στόχου.

Μεταξύ όμως των μεταβλητών κοστών βρίσκεται επίσης το «κόστος ευκαιρίας» ενός δικαιώματος. Το εν λόγω κόστος διαμορφώνεται από την προσφορά και ζήτηση των δικαιωμάτων. Η ζήτηση είναι συνάρτηση:

- της παραγόμενης ενέργειας
- των καιρικών συνθηκών
- τα επίπεδα εκπομπών
- τους τύπους παραγωγής
- της δυνατότητας προσαρμογής της παραγωγής
- του βαθμού ανάπτυξης της αποδοτικότητας

Η προσφορά των δικαιωμάτων εξαρτάται από:

- την αρχική διανομή των δικαιωμάτων από το NAPs (εθνικά προγράμματα διανομής περιορισμών)
- συνθήκες της ανταλλαγής αυτών
- «κόστος συμμόρφωσης» των επιχειρήσεων

Η απαραίτητη εξέταση των παραπάνω παραμέτρων συντέλεσε στην ανάπτυξη μεθόδου πρόβλεψης της θέσης της επιχείρησης στην αγορά. Ειδικότερα, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τις επιδράσεις των παραπάνω παραμέτρων σε τρείς δείκτες. Οι δείκτες αυτοί σχετίζονται με το αν η επιχείρηση περιορίζεται από το NAPs, αν προσφέρει ή ζητά δικαιώματα και αν κατόρθωσε να μειώσει τις εκπομπές της. Πιο συγκεκριμένα αυτοί είναι:

1. Ετήσιες εκπομπές
2. Ετήσιες επιτρεπτές εκπομπές
3. Προηγούμενες εκπομπές

Η μέθοδος εκτίμησης που επιλέχτηκε χρησιμοποιεί το «εσωτερικό κόστος ευκαιρίας». Είναι μια μέθοδος που εκτιμά τα οριακά κόστη της επιχείρησης που προκαλούνται όταν αυτή επενδύει σε μέτρα μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Συνεχίζοντας την ανάλυση του γραμμικού προβλήματος απόφασης, τονίζεται ότι οι μεταβλητές της διακρίνονται σε βασικές και μη βασικές. Οι μη βασικές μεταβλητές είναι πάντα μηδενικές, ενώ οι βασικές είναι μεγαλύτερες ίσου του μηδενός. Επίσης, ο αριθμός των βασικών μεταβλητών είναι ίσος με τον αριθμό των βασικών εφικτών λύσεων του. Διευκρινίζεται ότι βασικά εφικτή λύση καλείται μια εφικτή λύση που ικανοποιεί τουλάχιστον n περιορισμούς όλων των κατηγοριών.

Ένα γραμμικό πρόβλημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη εφικτό, ως απεριόριστο μιας που δεν έχει εφικτές λύσεις, πολλαπλό αφού έχει περισσότερες από μια βέλτιστη λύση και μοναδικό εφόσον διαθέτει μοναδική βέλτιστη λύση.

Προκειμένου να ευρεθούν οι βέλτιστες λύσεις κάθε γραμμικού προβλήματος χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι όπως ο αλγόριθμος του Simplex. Βασίζεται στην ιδέα να εξετάσει όλες τις εφικτές λύσεις έως ότου εντοπίσει τη βέλτιστη λύση. Ξεκινά με μια βασική εφικτή λύση και διαδοχικέ εναλλάσσει τις μεταβλητές σε βασικές και μη βασικές. Κάθε εφικτή λύση αντιστοιχεί σε μια τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Μάλιστα, αποδείχτηκε ότι στην διάρκεια εκτέλεσης του αλγόριθμού οι τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνονται. Η βέλτιστη εφικτή λύση αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Ακόμη, ο αλγόριθμος για τις μη βασικές μεταβλητές υπολογίζει το reduced cost. Το κόστος αυτό σχετίζεται με την αύξηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης αν η μη βασική μεταβλητή γίνει βασική.

2.5 Παράδειγμα ενός γραμμικού προβλήματος για την επιλογή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Στην ενότητα αυτή θα αναφέρουμε ένα παράδειγμα ανάπτυξης ενός γραμμικού προβλήματος επιλογής της παραγωγικής διαδικασίας της απαιτούμενης ενέργειας, το οποίο ικανοποιεί περιορισμούς εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Από το παράδειγμα αυτό γίνονται κατανοητά τα βήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός γραμμικού μοντέλου απόφασης. Επίσης, διαφαίνεται ο τρόπος που οι υποθέσεις και περιορισμοί του προβλήματος αντιστοιχίζονται και μετατρέπονται σε μαθηματικές σχέσεις. Τέλος, από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα που εξαρτώνται πάντα από τις αρχικές υποθέσεις. Το συγκεκριμένο παράδειγμα μπορεί να μην παρουσιάζει ομοιότητες με το γραμμικό πρόβλημα του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής εργασίας που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Αποτελεί, όμως, ένα καλό εργαλείο κατανόησης της θεωρίας της ανάπτυξης και χρήσης γραμμικών μοντέλων.

Η γενική ιδέα που χρησιμοποιείται και στο παράδειγμα παραμένει η ίδια. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παλεύουν να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους προσπαθώντας να προβλέψουν τη βέλτιστη παραγωγή, να προγραμματίσουν τις επενδύσεις τους και να υπολογίσουν τον αριθμό των δικαιωμάτων εκπομπών CO_2 που θα χρειαστούν δηλαδή μια εκτίμηση του αριθμού που θα πωλήσουν, αγοράσουν, καταναλώσουν και αποθηκεύσουν. Ο στόχος τους αυτός μπορεί να μοντελοποιηθεί από ένα γραμμικό πρόβλημα που προσεγγίζει τις επιλογές παραγωγής βασιζόμενο στην συνάρτηση παραγωγής του Leontief, όπως πραγματοποίησε ο Frederic Georges Brodach στην έρευνα του με τίτλο « The value of tradable Emission Permits – Development and Exemplary Application of a Valuation Method Based on Internal Opportunity Costs». Η συνάρτηση παραγωγής αυτού του τύπου συσχετίζει την κατανάλωση των πρώτων υλών, που ονομάζεται συντελεστής παραγωγής, με την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

Το μοντέλο που ακολουθεί είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να προχωρά στην εκτίμηση της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εφόσον εγκατασταθεί η νέα βελτιωμένη τεχνολογία παραγωγής. Επισημαίνεται ότι φανερώνει την εναλλαγή της παραγωγικής διαδικασίας και τις διαφορετικές επιλογές εξασφάλισης κέρδους από τη χρήση των δικαιωμάτων. Η ανάλυση του εν λόγω μοντέλου έδειξε ότι η επιλογή της τεχνολογίας παραγωγής καθορίζει την ταξινόμηση των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν, την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και τις εκπομπές. Για αυτό ισχυρίζονται ότι διαμορφώνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, κινδύνους και κόστος της όλης στρατηγικής συμμόρφωσης της κάθε επιχείρησης.

Επιπρόσθετα, το γραμμικό πρόβλημα επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες όπως η αβεβαιότητα και η τάση για μη μεταβολής της τεχνολογίας παραγωγής. Η τελευταία δεν αναλύεται ούτε εμπεριέχεται λεπτομερέστατα στο μοντέλο. Η αβεβαιότητα αποτελείται από τις εξής μορφές, νομοθετικής, τεχνολογικής, ζήτησης, προσφοράς, τιμής και σχεδιασμού εκπομπών. Το μοντέλο μας ναι μεν θεωρεί το νομοθετικό περιβάλλον γνωστό, αλλά από την άλλη η έλλειψη γνώσης θα επιφέρει κίνδυνο λήψης βιαστικών μέτρων συμμόρφωσης. Επίσης, θεωρούνται γνωστά εκ των προτέρων όλα τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της παραγωγής. Είναι αναγκαίο γιατί εξ αυτών επηρεάζεται η έρευνα, η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός των επενδύσεων της. Ακόμη, η αβεβαιότητα του τύπου ζήτησης επιδρά στη διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και των δικαιωμάτων CO_2. Η τιμή τους σχετίζεται επιπλέον από την αβεβαιότητα τύπου προσφοράς. Τέλος, η πυκνότητα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ή αλλιώς ο συντελεστής μόλυνσης λαμβάνεται συνεχής.

Κατόπιν των απαραίτητων επεξηγήσεων, διατυπώνει το γραμμικό μοντέλο ως εξής:

Η αντικειμενική συνάρτηση κέρδους της κάθε επιχείρησης ορίζεται ως η διαφορά των συνολικών εσόδων της μείον τα μεταβλητά κόστη της. Στον ορισμό δεν συμπεριλαμβάνει τα πάγια κόστη.

$$\max \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} \left[p_j * s_k * \lambda_{i.k} - \sum_{j=1}^{J} q_{i,j} * a_{k,j} * \lambda_{i,k} \right]$$

και υπάρχουν πέντε κατηγορίες περιορισμών:

1. $\sum_{i=1}^{L} \sum_{k=1}^{K} a_{k,j} * \lambda_{i,k} \leq \overline{r_j}, \forall j \in \{1,2,...,J\}$

2. $\sum_{k=1}^{K} c_k * \lambda_{i,k} - v_i \leq 0, \forall i \in \{1,2,...,I\}$

3. $\sum_{i=1}^{I} v_i \leq \overline{v}$

4. $\sum_{k=K(t)}^{K(t+1)-1} \lambda_{i,k} \le \lambda_{\max,i}, \forall i \in \{1,2...,I\}, \forall t \in (1,2,...,T)$

5. $-\sum_{k=K(t)}^{K(t+1)-1} \lambda_{i,k} \le -\lambda_{\min,i}, \forall i \in \{1,2...,I\}, \forall t \in (1,2,...,T)$

Επισημαίνεται στο παράδειγμα πως η βέλτιστη εφικτή λύση που θα παράγει το μοντέλο εντοπίζεται από τις μεταβλητές $\lambda_{i,k} and v_i$. Με άλλα λόγια η δυνατότητα παραγωγής της κάθε μεθόδου k στη χρονική διάρκεια i και ο αριθμός των δωρεάν δικαιωμάτων που διανέμονται σε κάθε περίοδο i θα καθορίσουν τη βέλτιστη λύση.

Συνεχίζοντας την ανάλυση του, επεξηγεί τις μεταβλητές του παραπάνω γραμμικού προβλήματος. Η επιθυμητή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παραχθεί από K διαφορετικές παραγωγικές μεθόδους στην παρατηρούμενη χρονική διάρκεια I. Οι εν λόγω διαφορετικές παραγωγικές διαδικασίες χρησιμοποιούν T διαφορετικές μηχανές. Επίσης, η κάθε παραγωγική διαδικασία k έχει τη δική της διάρκεια i και συγκεκριμένη δυνατότητα παραγωγής μετρούμενη σε ώρες $\lambda_{i,k}$. Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει κάθε μέθοδος ανά ώρα συμβολίζεται με s_k.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παραχθεί εξαρτάται από J διαφορετικές εισόδους. Η κατανάλωση της κάθε εισόδου ανά παραγωγική ώρα καλείται συντελεστής παραγωγής και συμβολίζεται με $a_{k,j}$. Ο συντελεστής παραγωγής, κατά το συγγραφέα, αντιπροσωπεύει την απαραίτητη ποσότητα της εισόδου j για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά ώρα παραγωγής s_k. Η συνολική κατανάλωση της κάθε εισόδου την περίοδο i συμβολίζεται $\sum_{k=1}^{K} a_{k,j} * \lambda_{i,k}$. Όμως η ποσότητα κάθε παραμέτρου εισόδου για όλες τις περιόδους είναι συγκεκριμένη και ίση με $\overline{r_j}$. Οπότε είναι σημαντικό η συνολική απαιτούμενη κατανάλωση αυτών να ην υπερβαίνει την διαθέσιμη ποσότητας τους.

Συνεχίζοντας ερμηνεύει τη μεταβλητή v. Μέσω της μεταβλητής αυτής γίνεται λόγος για τις παραγόμενες εκπομπές ρύπων της κάθε παραγωγικής μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα στο πρόβλημα του, είναι ίση με τον αριθμό των δωρεάν δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα που διανεμήθηκαν σε όλες τις μηχανές T. Επίσης, με τη μεταβλητή v_i συμβολίζονται τα δωρεάν δικαιώματα κάθε περιόδου και τα οποία αν αθροιστούν για όλες τις περιόδους δεν πρέπει να υπερβαίνουν της τιμής της v. Επιπλέον, η ποσότητα ρύπων που αντιστοιχεί σε μια ώρα παραγωγής ονομάζεται συντελεστής μόλυνσης c_k και η συνολική μόλυνση την χρονική περίοδο i υπολογίζεται ως $\sum_{k=1}^{K} c_k * \lambda_{i,k}$ που δεν πρέπει να ξεπερνά τον αριθμό των δωρεάν δικαιωμάτων εκπομπών CO_2 της περιόδου αυτής .

Τελικώς, η p_i μεταβλητή αντιστοιχεί στη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας την περίοδο i και μετριέται σε χρηματικές μονάδες. Ανάλογα, η $q_{i,j}$ μετριέται επίσης σε χρηματικές μονάδες και αντιστοιχεί στην τιμή ανά μονάδα εισόδου j για την περίοδο i. Η τιμή αυτή θεωρείται αμετάβλητη στην διάρκεια της περιόδου. Επισημαίνεται ότι η μέθοδος δεν περικλείει τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης και το κόστος να μεταβιβαστεί το «κόστος ευκαιρίας» στους καταναλωτές.

Το Δυαδικό του Γραμμικού μοντέλου

Διευκρινίζουμε πως το μοντέλο της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει μόνο την ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγωγής και δεν διατυπώνει το αντίστοιχο γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίηση τους κέρδους. Η αντικειμενική μας συνάρτηση ανάλογα με την περίπτωση εξέτασης ορίζεται είτε ως το μεταβλητό κόστος παραγωγής είτε ως η διαφορά του μεταβλητού κόστους παραγωγής και του κόστους κατανάλωσης.

Το δυαδικό πρόβλημα του παραπάνω παραδείγματος έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της επιχείρησης. Η βέλτιστη του λύση είναι δείκτης του «κόστους ευκαιρίας» των δικαιωμάτων. Διατυπώνεται ως εξής:

$$\min \sum_{j=1}^{J} \overline{r_j} * x_j + \bar{v} * z + \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{I} (\lambda_{\max,i} * u_{i,t} - \lambda_{\min,i} * y_{i,t})$$

με τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^{J} a_{k,j} * x_j + c_k * w_i + u_{i,t^*(k)} - y_{i,t^*(k)} \geq p_i * s_k - \sum_{j=i}^{J} q_{i,j} * a_{k,j}, \forall i \in \{1,2,...,I\}, \forall k \in \{1,2,...,K\}$$

$$-w_i + z \geq 0, \forall i \in (1,2,...I)$$

- $t^*(k)$ αναφέρεται στην μηχανή την οποία χρησιμοποιεί η παραγωγική μέθοδος k
- x_j , αφορούν τους περιορισμούς (1) του γραμμικού για την κατανάλωση εισόδων
- w_i , σχετίζονται με τους περιορισμούς (2) για την συμμόρφωση των εκπομπών CO_2
- z, αφορά τον περιορισμό (3) ώστε τα δωρεάν δικαιώματα εκπομπών όλων των περιόδων να μην υπερβαίνουν των δικαιωμάτων της κάθε μηχανής ή παραγωγικής μεθόδου
- $u_{i,t}$, σχετίζονται με τη μέγιστη δυνατή παραγωγική δύναμη της μηχανής ανά ώρα

- $y_{i,t}$,σχετίζονται με την ελάχιστη δυνατή παραγωγική δύναμη της μηχανής ανά ώρα

Διευκρινίζεται ότι η τιμή της μεταβλητής z στην βέλτιστη λύση εκφράζει το «κόστος ευκαιρίας» σε μια περίοδο, η οποία περίοδος όμως δεν χαρακτηρίζεται από περιορισμό ρύπων. Από την άλλη, η τιμή της μεταβλητής w_i εκφράζει το κόστος σε μια περίοδο υπό περιορισμό εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα ή δείχνει πώς ποικίλλει το συνολικό κέρδος ανά δικαίωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}

ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

3.1 Εισαγωγικά

Τις τελευταίες δεκαετίες μοντέλα που αφορούν το σχεδιασμό ενεργειακών στρατηγικών και τη διαμόρφωση πολιτικών έχουν αποτελέσει το αντικείμενο έρευνας πολλών εργασιών. Στις περισσότερες των εργασιών, αυτά τα μοντέλα αποτέλεσαν μέρος του λεγόμενου Σχεδιασμού στρατηγικών βασιζόμενου σε σενάρια (Scenario-Based Planning).

Ειδικότερα, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στον εν λόγω σχεδιασμό στρατηγικών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορα κριτήρια. Μια πρώτη διάκριση αυτών αφορά στη βελτιστοποίηση και προσομοίωση μοντέλων. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης προσπαθούν να ικανοποιήσουν μια δεδομένη ή μια εκτιμώμενη ποσότητα ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός συνδυασμού των πρωταρχικών πηγών ενέργειας ή των τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας που ελαχιστοποιούν το κόστος παραγωγής ή τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου. Από την άλλη, τα μοντέλα προσομοίωσης δεν αποσκοπούν στη παγκόσμια βελτιστοποίηση αλλά θα λέγαμε στην ιδιωτική βελτιστοποίηση. Βέβαια, δεν αποκλείεται να περικλείουν κάποιους αλγόριθμους βελτιστοποίησης για την εξασφάλιση περιορισμένης τοπικά βελτιστοποίησης. Τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν στους σχεδιαστές να πραγματοποιούν δοκιμές της ευρωστίας των πολιτικών ή στρατηγικών προκαθορίζοντας τις συνθήκες δοκιμής. Τονίζεται, όμως, ότι οι πολιτικές ή στρατηγικές αυτές δεν είναι πιθανόν οι βέλτιστες. Τέλος, επισημαίνεται πως στον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό πολιτικών βασιζόμενο σε σενάρια όπου η αβεβαιότητα αποτελεί κύριο συστατικό μελέτης, τα μοντέλα προσομοίωσης συνιστούν την καταλληλότερη επιλογή.

Τα μοντέλα ενεργειακής πολιτικής εκτός των άλλων εργαλείων που χρησιμοποιούν, στηρίζονται επί τον πλείστον στις καμπύλες μάθησης. Οι καμπύλες μάθησης (learning curves ή experience curves) συνιστούν έναν από τους βασικούς μηχανισμούς της τεχνολογικής μεταβολής. Η τεχνολογική μεταβολή αναφέρεται στη διαρκή διαδικασία αντικατάστασης και εξέλιξης που οφείλεται στον ανταγωνισμό και αλληλεπίδραση των νέων και υπαρχουσών τεχνολογιών της αγοράς. Η σημασία μελέτης τής είναι καθοριστική για τη μακροχρόνια παραγωγική ανάπτυξη και έχει διαπιστωθεί αρκετά χρόνια πριν από τους Solow 1957 και Cameron 1996. Αρχικά, παρέμενε εξωγενής παράμετρος. Στην πάροδο του χρόνου όμως, παρατηρήθηκε ότι η τεχνολογία είναι συνδεδεμένη τόσο με την οικονομική όσο και κοινωνική ανάπτυξη. Για αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη να συμπεριληφθεί ενδογενώς στο μοντέλο της οικονομικής ανάπτυξης.

Η τεχνολογική εξέλιξη φαίνεται να οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγικότητα, αυξημένη παραγωγή και ποικιλία επιλογών παραγωγής. Οι νέες τεχνολογίες ίσως να διατηρούν πλεονέκτημα υπέρ των υπαρχουσών αλλά από πλευράς κόστους μειονεκτούν. Με άλλα λόγια, αν και επιλέγουν να διατηρήσουν σε χαμηλότερο επίπεδο το κόστος των νέων τεχνολογιών, εξακολουθούν να παραμένουν μη ανταγωνιστικές. Βέβαια, όσο αποκτιέται η εμπειρία εφαρμογής και βελτιώνονται, τόσο το κόστος τους μειώνεται μέχρι που θα σταθεροποιηθεί. Αυτό ακριβώς απεικονίζεται σε μια καμπύλη μάθησης. Αρχικά, η νέα τεχνολογία έχει ένα υψηλό κόστος που στην εξέλιξη του χρόνου φθίνει και τότε μπορεί να αντικαταστήσει την παλαιά τεχνολογία και να εδραιωθεί. Επισημαίνεται εν τούτοις ότι η διαδικασία βελτίωσης πρέπει να εξαρτάται αποκλειστικά από επενδύσεις. Οι παραγωγοί επενδύουν στις νέες τεχνολογίες προσδοκώντας να γίνουν ακόμη πιο ανταγωνιστικοί ή για να αποφύγουν ρίσκα και αβεβαιότητες που πιθανόν αντιμετώπιζαν μέχρι τότε, όπως οι περιορισμοί. Η επένδυση σε μια τεχνολογία σε πρώιμο στάδιο δεν κρύβει κινδύνους αλλά αυτό δεν συνεπάγεται ότι μελλοντικά δεν θα αντιμετωπίσει διλήμματα. Όμως, η γκάμα των πιθανών μελλοντικών προβλημάτων χαρτογραφείται από το μοντέλο.

3.2 Τεχνολογική μάθηση

Η διαδικασία μάθησης έχει αποδειχτεί ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιστήμη Διαχείρισης και Διοίκησης, όπως επισημαίνουν και οι Leonardo Baretto και Socrates Kypreos. Πριν από αυτούς, ο De Gauss (1997) τόνισε ότι μάθηση είναι η ικανότητα αλλαγής και ανάπτυξης νέων δεξιοτήτων και συμπεριφορών, και γενικά η ικανότητα να προσαρμόζεται η εσωτερική δομή μιας οργάνωσης με το αναδιαμορφωμένο περιβάλλον της. Σύμφωνα με τη έρευνα τους, οι καμπύλες μάθησης φανερώνουν ότι η εμπειρία που αποκομίζεται από τη χρήση μιας τεχνολογίας βελτιώνει την απόδοση της. Η ορθότερα αντικατοπτρίζουν ότι μερικές τεχνολογίες βιώνουν μειώσεις του κόστους τους, ως αποτέλεσμα της αυξημένης προτίμησης τους από την κοινωνία. Έχει παρατηρηθεί ότι όσο πιο οικεία γίνεται μια τεχνολογία, τόσο καλύτερα αποδίδει και στοιχίζει και πιθανόν να γίνεται ακόμη πιο επιθυμητή.

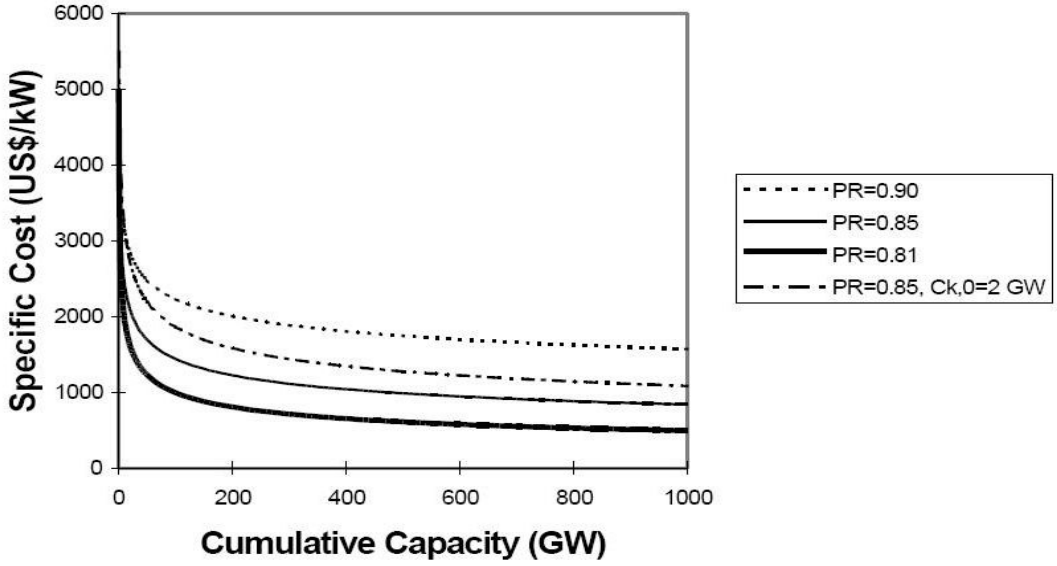
Η καμπύλη μάθησης παρουσιάζει εκθετική μορφή, όπως μελέτησαν αναλυτικά οι Argote and Epple το 1990. Ειδικότερα, $SC(C) = a * C^{-b}$

όπου

$SC = κόστος$,

$C = δυναμικότητα$,
$b = δείκτης_μάθησης$,
$a = κόστος_της_πρώτης_μονάδας$

Η παράμετρος α υπολογίζεται από ένα σημείο της καμπύλης και συνήθως το αρχικό σημείο της, $a = SC_O /(C_O)^{-b}$. Ο δείκτης μάθησης b δεν δίνεται συνήθως και αντί για αυτού χρησιμοποιείται ο λόγος προόδου pr. Συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση: $pr = 2^{-b}$. Από τον λόγο προόδου υπολογίζεται ο λόγος μάθησης lr ως εξής: $lr = 1 - pr$.



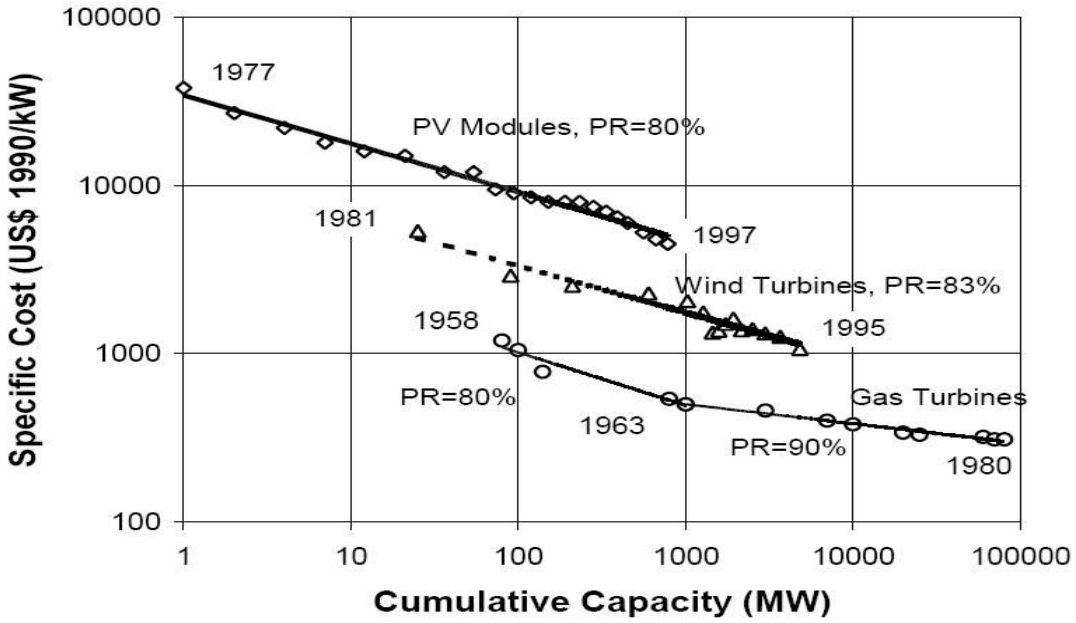
Σχήμα 1 – παράδειγμα τυπικής μορφής μιας καμπύλης μάθησης

Στο παραπάνω σχήμα (σχήμα 1) φαίνεται η κλασική μορφή που ακολουθούν οι εν λόγω καμπύλες μάθησης. Απεικονίζονται διάφορες καμπύλες ανάλογα με τους ρυθμούς προόδου. Παρατηρείται ότι η καμπύλη έχει μεγαλύτερη φθίνουσα πορεία για μικρότερο ρυθμό προόδου. Ένα ακόμη συμπέρασμα που εξάγουνε είναι ότι για τον ίδιο λόγο προόδου, η τεχνολογία με μεγαλύτερη δυναμικότητα αντιστοιχίζεται στην καμπύλη με τη μεγαλύτερη απόσβεση. Επισημαίνεται όμως ότι το συμπέρασμα αυτό δεν είναι απόλυτο και ίσως να αντιστρέφεται ανάλογα με το είδος της τεχνολογίας.

Είναι πιο πρακτικό να αναπαριστώνται οι καμπύλες μάθησης σε λογαριθμική κλίμακα. Το αξιοσημείωτο στην περίπτωση αυτή είναι ότι οι μειώσεις του κόστους δεν είναι τόσο έντονες όσο αναμενόταν. Για παράδειγμα, αν διπλασιάζεται κάθε φορά η δυναμικότητα, το κόστος θα μειώνεται κάθε φορά όλο και λιγότερο από την προηγούμενη φορά. Ένα μειονέκτημα των παραδοσιακών καμπυλών μάθησης είναι πως το κόστος της νέα τεχνολογίας προσεγγίζει το μηδέν, όσο αυξάνεται η ανάπτυξη της. Αυτό όμως δεν είναι ρεαλιστικό. Για αυτό, έχει γίνει η πρόταση να ορίζεται ένα κατώτατο κατώφλι τιμής του κόστους για να αποφεύγεται ο μηδενισμός του κόστους. Επίσης, κάθε νέα μονάδα δυναμικότητας που προστίθεται δεν αποτυπώνεται στην καμπύλη εάν η τεχνολογία έχει ωριμάσει και εάν οι αγορές έχουν εξαντληθεί.

Δηλαδή, το κόστος της τεχνολογίας έχει σταθεροποιηθεί και δεν μεταβάλλεται παρά την προσθήκη νέα δυναμικότητας.

Στο σχήμα 2 φαίνονται τρεις γραμμικές καμπύλες μάθησης που αφορούν την αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια και του φυσικού αερίου. Εύκολα παρατηρείται ότι, αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αρχικές υψηλότερες τιμές, παρόλα αυτά βιώνουν μια ακμαία περίπτωση μάθησης. Μάλιστα τις συγκρίνουν με την παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο που είχε βιώσει μια παρόμοια ραγδαία εξέλιξη με αυτές στο παρελθόν.



Σχήμα 2 –Παράδειγμα τριών καμπύλων μάθησης της αιολικής παραγωγής ενέργειας, ηλιακής και φυσικού αερίου

Πέραν αυτών, οι καμπύλες μάθησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν. Στην έρευνα τους διευκρινίζεται πως οι Argote και Epple τις ταξινόμησαν το 1990. Μια κατηγορία είναι η μάθηση εξ εφαρμογής. Το συμπέρασμα τους για τις καμπύλες μάθησης από εφαρμογή ήταν ότι η παραγωγικότητα αυξάνεται όσο οι επιχειρήσεις αποκτούν εμπειρία εφαρμογής. Βέβαια, κάθε επιχείρηση παρουσιάζει τον προσωπικό ρυθμό μάθησης της. Άλλη μία κατηγορία είναι η μάθηση εξ χρήσης και προκύπτει από την χρησιμότητα της τεχνολογίας από τον τελικό χρήστη (Criqui et al. 1998). Για τις συγκεκριμένες αποδείχτηκε ότι ο τελικός χρήστης μαθαίνει για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του αγαθού από την επαφή με αυτό. Και τελευταία κατηγορία είναι η μάθηση εξ αλληλεπίδρασης, στην οποία υφίσταται η έννοια της επικοινωνίας μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών. Η διαρκή αυτή επικοινωνία συμβάλλει στην αποτελεσματική βελτίωση του προϊόντος και αυξάνεται η γνώση για τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Βέβαια και παρόλο ότι υπάρχουν αρκετές καμπύλες μάθησης, δεν μπορούν όλες οι τεχνολογίες να αναπαρασταθούν με μια τέτοια καμπύλη.

Επιπρόσθετα, οι εν λόγω καμπύλες αντιμετωπίζουν ένα βαθμό αβεβαιότητας. Ο ρυθμός προόδου, που αναφέρθηκε παραπάνω και ως δείκτης μάθησης, αποτελεί την πιο αβέβαια παράμετρο των καμπυλών. Είναι δύσκολή η πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του για δεδομένη τεχνολογία. Επίσης, είναι αβέβαιο πως θα μεταβληθεί στη διάρκεια ζωής της τεχνολογίας. Τονίζουν ότι οι Argote και Epple κατέβαλλαν σημαντική προσπάθεια και κατάφεραν να περιορίσουν τη μεταβολή του ρυθμού προόδου σε ένα μικρό εύρος διακύμανσης ανάλογα με το είδος της τεχνολογίας και της διαδικασίας. Στο δείγμα τους, οι ρυθμοί προόδου κυμαίνονται από 56% μέχρι 100% και η μέση τιμή ήταν 80%. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μεγαλύτεροι ρυθμοί ανάπτυξης δεν προσφέρουν το πρέπον χρονικό διάστημα για την εξοικείωση με την εκάστοτε νέα τεχνολογία και έτσι οι δείκτες μάθησης έχουν φθίνουσα πορεία. Παράλληλα, επισημαίνεται ότι οι τεχνολογίες που χαίρουν την προτίμηση και υποστήριξη της αγοράς διατηρούν υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Οι καμπύλες μάθησης είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο για την απόφαση στρατηγικών στο πρόβλημα της επιλογής ενεργειακών τεχνολογιών. Μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για το ποιες τεχνολογίες είναι πολλά υποσχόμενες να γίνουν ανταγωνιστικές μελλοντική και επίσης πληροφορεί για τον αριθμό των επενδύσεων που απαιτούνται για να φτάσουν να είναι ανταγωνιστικές που ονομάζεται κόστος ωρίμανσης. Προσφέρουν δηλαδή τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να διατηρούν χαρτοφυλάκιο εναλλακτικών τεχνολογιών, για τις οποίες γνωρίζουν πότε πρέπει να εφαρμοστούν για να συμβάλλουν στην αποτελεσματική ανάπτυξη των επιχειρήσεων.

3.3 Περιγραφή των μοντέλων Βελτιστοποίησης και Προσομοίωσης

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα επιχειρήσουμε να περιγράψουμε με μια πιο ενδελεχή ματιά τα μοντέλα βελτιστοποίησης όπως και προσομοίωσης και να τα διακρίνουμε ανάλογα με τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

3.3.1 Μοντέλα Βελτιστοποίησης

Τα πιο γνωστά και διαδομένα ενεργειακά μοντέλα βελτιστοποίησης της βιβλιογραφίας είναι εκείνα που αναπτύχθηκαν από το Markal ή το Times. Μάλιστα, έχουν χρησιμοποιηθεί από ογδόντα ινστιτούτα σε περισσότερες από τριάντα χώρες. Και επίσης, είναι προϊόν-αποτέλεσμα της πολυεθνικής προσπάθειας που πραγματοποιήθηκε υπό την ευθύνη του Energy Technology Systems Analysis Programe ETSAP του Διεθνούς Πρακτορείου Ενέργειας.

Το μοντέλο Markal εξετάζει μια ομάδα διαφορετικών πιθανών μελλοντικών καταστάσεων κάθε φορά που πραγματοποιεί μια σειρά εκτελέσεων. Διευκρινίζεται στο σημείο αυτό πως οι πιθανές μελλοντικές καταστάσεις διαμορφώνονται ανάλογα με τις προβλέψεις της ζήτησης της ενέργειας, που εσωκλείει τη ζήτηση ενέργειας των νοικοκυριών. Ειδικότερα, το μοντέλο θα προσδιορίσει τη συμφέρουσα διάταξη των

τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας (merit order) προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της ζήτησης.

Ως παράδειγμα παραθέτουμε, ότι στην εργασία RES2020 τα μοντέλα του Times διαμορφώθηκαν σε εθνικό επίπεδο και χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό να εξεταστούν οι μελλοντικές επιλογές πολιτικών και μέτρων αξιολόγησης τους. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουν τους στόχους για τη συνεισφορά του RES η οποία επιτυγχάνεται από την εφαρμογή των επιλογών πολιτικής και τέλος, να διευκρινιστούν οι επιδράσεις της επίτευξης των παραπάνω στόχων στην Ευρωπαϊκή Οικονομία.

Επιπρόσθετα, τα κλασικά Markal-Times μοντέλα υπολογίζουν τη λύση τους (επένδυση εξοπλισμού, πρωταρχική προσφορά ενέργειας και αποφάσεις εμπορίας ενέργειας) ανάλογα με την προσφορά των υπηρεσιών ενέργειας στο παγκόσμιο ελάχιστο κόστος. Εν τούτοις, υπάρχουν και άλλα μοντέλα που εξετάζουν μερικές συνθήκες ισορροπίας ή πλήρεις συνθήκες ισορροπίας. Αυτά τα μοντέλα όμως δίνουν βαρύτητα στις επιδράσεις της κατανάλωσης ή της οικονομίας γενικώς.

Η έμφαση που δίνουν στην ελαχιστοποίηση του κόστους είναι πολλή λογική, εφόσον για παράδειγμα στόχος της εφαρμογής του μοντέλου αυτού είναι ο σχεδιασμός των επενδύσεων των επιχειρήσεων. Από την άλλη πλευρά όμως, αν στόχοι της ανάλυσης είναι η πρόβλεψη των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας ή η βαθύτερη κατανόηση της αβεβαιότητας του μέλλοντος για να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν πολιτικές, τότε το κόστος δεν μπορεί να αποτελέσει αμερόληπτο κριτήριο απόφασης και ίσως να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα. Επίσης, τα μοντέλα βελτιστοποίησης στηρίζονται στον γραμμικό προγραμματισμό. Βέβαια, όπως είναι γνωστό η τεχνολογική ανάπτυξη για παράδειγμα είναι αποτέλεσμα της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ των επενδύσεων και των αποτελεσμάτων. Ομοίως, οι μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δραστών και της ανάδρασης του συστήματος επιδρούν σημαντικά στα αποτελέσματα των πολιτικών ενέργειας.

Όπως συμβαίνει με όλα τα μοντέλα, έτσι και τα μοντέλα παρουσιάζουν μια τυποποιημένη, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε μορφή, δομή, συστατικά και εργαλεία. Παρακάτω θα ακολουθήσει η περιγραφή ενός τυπικού ενεργειακού γραμμικού μοντέλου και των κυρίων στοιχείων που πρέπει να περιλαμβάνει. Η εν λόγω περιγραφή είναι σχετικά γενική και για αυτό λέμε ότι κάθε μοντέλο ακολουθεί αυτό το μοντέλο. Βέβαια ανάλογα με το αντικείμενο έρευνας, το σκοπό του μοντέλου και την τρέχουσα χρονική περίοδο, το κάθε μοντέλο περιλαμβάνει τα συστατικά που συντελούν στην επίτευξη του στόχου του.

Τα μοντέλα βελτιστοποίησης διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν αναφέρονται σε αγορές ηλεκτρικής ενέργειας που υποθέτουν συνθήκες τέλειου ή ατελούς ανταγωνισμού. Μια αγορά που τελεί υπό τέλειο ανταγωνισμό είναι μια ιδανική περίπτωση αγοράς. Σε γενικές γραμμές σε μια πλήρως ανταγωνιστική δεν υφίστανται εμπόδια εισόδου νέων επιχειρήσεων, όπως παρατηρείται να συμβαίνει σε μια αγορά

ατελούς ανταγωνισμού που πλησιάζει τη ρεαλιστική εικόνα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Με λίγα λόγια, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται κλειστή σε νέες εισόδους λόγω των τεράστιων χρηματικών ποσών που απαιτούνται για την είσοδο μιας νέα επιχείρησης. Έτσι, δραστηριοποιούνται οι κυρίαρχες επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας που έχουν τη δύναμη να δρουν ως φυσικό μονοπώλιο.

3.3.2 Στοιχεία ενός τυπικού ενεργειακού γραμμικού ανταγωνιστικού μοντέλου

Όλα τα ενεργειακά μοντέλα, βελτιστοποίησης και προσομοίωσης ή γραμμικά και μικτά ή ανταγωνιστικά και μη ανταγωνιστικά, παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς τη μορφή και δομή τους. Αυτό που τα κάνει να διαφοροποιούνται θα λέγαμε ότι είναι οι υποθέσεις και οι μαθηματικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιεί κάθε ένα από αυτά. Όλα τα μοντέλα βελτιστοποίησης φέρουν τη μορφή και απαιτήσεις που θα περιγράψουμε αμέσως παρακάτω. Μάλιστα, με αυτόν τον τρόπο στήθηκε το μοντέλο της παρούσας εργασίας. Έτσι, παρακάτω θα καταγράψουμε τα βασικά στοιχεία ενός τυπικού ενεργειακού γραμμικού ανταγωνιστικού μοντέλου βελτιστοποίησης. Διευκρινίζουμε, όμως πως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και συνθήκες ενός ανταγωνιστικού μοντέλου θα αναλυθούν στη συνέχεια.

1. Εισόδους (Inputs)

   Κάθε μοντέλο λαμβάνει ως είσοδο ένα σενάριο, δηλαδή ένα σύνολο υποθέσεων που αφορούν τη μελλοντική εξέλιξη των παραμέτρων που εξετάζει το συγκεκριμένο ενεργειακό μοντέλο. Ένα σενάριο για να θεωρηθεί πλήρες θα πρέπει να αποτελείται από τέσσερις τύπους δεδομένων: τη ζήτηση ενεργειακών υπηρεσιών, τη διαθεσιμότητα πόρων, την πολιτική που έχει τεθεί και την περιγραφή ενός συνόλου τεχνολογιών. Η δημιουργία του σεναρίου ζήτησης αναφοράς απαιτεί τον προσδιορισμό της ζήτησης των ενεργειακών υπηρεσιών τελικής χρήσης. Η ζήτηση αυτή, μόνο για το σενάριο αναφοράς, παρέχεται από τον χρήστη. Αυτό γιατί, όταν το μοντέλο οργανώνεται για εναλλακτικά σενάρια, όπως για παράδειγμα για μια περίπτωση περιορισμού της εκπομπής αερίων ρύπων ή για ένα σύνολο εναλλακτικών τεχνολογικών υποθέσεων, τότε η ζήτηση ενδέχεται να επηρεαστεί. Το μοντέλο, όμως, έχει την ικανότητα να υπολογίσει τη μεταβολή αυτή, εφόσον διαθέτει ένα ακόμη σύνολο μεταβλητών εισόδου που είναι οι ελαστικότητες τιμής-ζήτησης (elasticities of the demands to the own prices). Οπότε βλέπουμε πως στην πραγματικότητα, κάθε μοντέλο οδηγείται όχι από την καθεαυτό ζήτηση αλλά από τις καμπύλες ζήτησης σε σχέση με την τιμή της ενέργειας (demand curves).

   Με τον όρο διαθεσιμότητα πόρων γίνεται λόγος για ένα σύνολο καμπύλων προσφοράς (supply curves) για την πρωτογενή ενέργεια και υλικούς πόρους. Βλέπουμε πως προκύπτουν καμπύλες πολλών βαθμίδων, αλλά το γεγονός αυτό οφείλεται ότι κάθε βαθμίδα αναπαριστά ένα ορισμένο δυναμικό του

διαθέσιμου πόρου ως προς το κόστος αυτού. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα πόρων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των εμπορικών συναλλαγών.

Στο βαθμό που η πολιτική επηρεάζει το ενεργειακό σύστημα, μπορεί να αποτελέσει αναπόσπαστο κομμάτι ενός σεναρίου. Για παράδειγμα, εάν ένα σενάριο δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη πολιτικές μπορεί να αγνοήσει τις εκπομπές των διαφόρων ρύπων. Τα σενάρια, όμως, εκείνα που τις λαμβάνουν υπόψη πρέπει να επιβάλλουν περιορισμούς εκπομπών ή ακόμη φόρους εκπομπής. Η λεπτομερής αποτύπωση των διαθέσιμων τεχνολογιών στα ενεργειακά μοντέλα επιτρέπει την προσομοίωση μιας ευρείας ποικιλίας τόσο στοχευμένων μέτρων, όπως είναι τα τεχνολογικά χαρτοφυλάκια και οι στοχοθετημένες επιχορηγήσεις σε ομάδες τεχνολογίας, όσο και ευρύτερων πολιτικών όπως είναι ο γενικός φόρος άνθρακα ή το σύστημα εμπορικών συναλλαγών δικαιωμάτων εκπομπών αερίου.

Το τελευταίο συστατικό ενός σεναρίου είναι το σύνολο των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη για το μετασχηματισμό των αρχικών πόρων σε ενεργειακές υπηρεσίες. Οι σχετικές τεχνοοικονομικές παράμετροι περιγράφονται με τη μορφή τεχνολογιών που μετασχηματίζουν μερικά προϊόντα σε άλλα (καύσιμα, υλικά, ενεργειακές υπηρεσίες, εκπομπές). Μερικές τεχνολογίες μπορούν να επιβληθούν, ενώ άλλες μπορούν απλά να είναι διαθέσιμες στους επενδυτές και καταναλωτές ενέργειας.

2. Έξοδοι (Outputs)

Από τα προηγούμενα, διαπιστώνεται πως το μοντέλο δίνει ως έξοδο την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών ή τα επίπεδα της παραγωγής ενέργειας με το ελάχιστο συνολικό κόστος (minimum cost) και κατά επέκταση με την ελάχιστη απώλεια συνολικού πλεονάσματος (minimum loss of surplus). Η έξοδος ενός γραμμικού προγράμματος του μοντέλου, για κάθε δεδομένο σενάριο και για κάθε χρονική περίοδο και περιοχή, μπορεί να αποτελείται από κάποια ή όλα τα παρακάτω συστατικά: το σύνολο των επενδύσεων σε όλες τις τεχνολογίες, τα επίπεδα λειτουργίας όλων των τεχνολογιών, τις εισαγωγές και εξαγωγές όποιου τύπου εμπορεύσιμού ενεργειακού υλικού, τις παραγόμενες ροές όπως ο ηλεκτρισμός κάθε τεχνολογίας και τις εκπομπές αερίων κάθε τεχνολογίας.

3. Δομή (Structure)

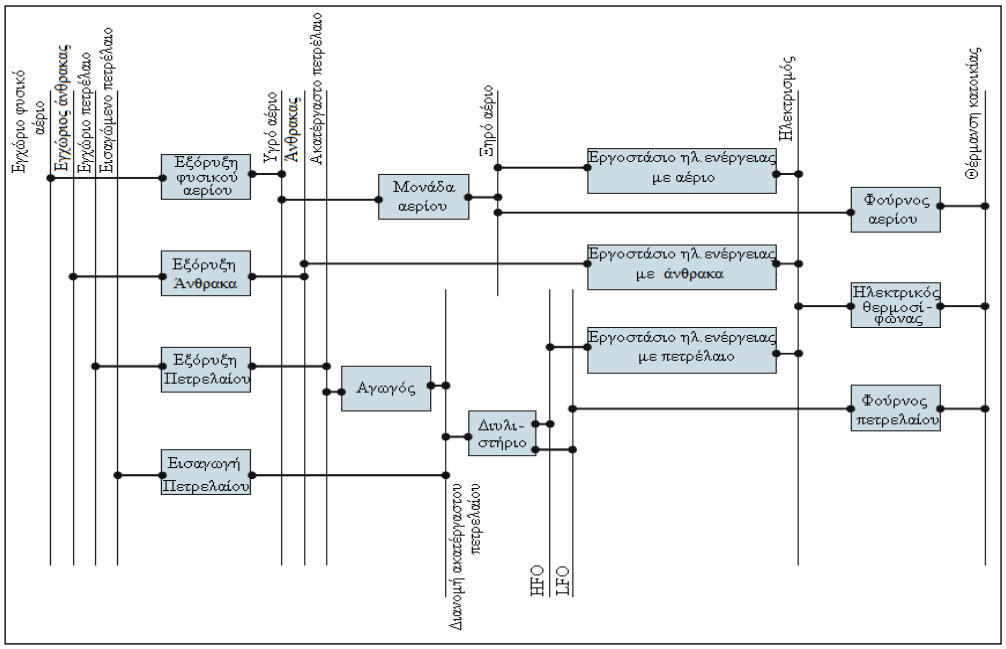
Η δομή ενός μοντέλου καθορίζεται από τις εξισώσεις και τις μεταβλητές του , οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζονται από τα δεδομένα που παρέχονται από το χρήστη. Η βάση δεδομένων του μοντέλου περιέχει τόσο ποιοτικά (qualitative data) όσο και ποσοτικά στοιχεία (quantitative data). Τα ποιοτικά δεδομένα περιλαμβάνουν για παράδειγμα τους καταλόγους πηγών ενέργειας, των τεχνολογιών που ο δημιουργός του μοντέλου πιστεύει ότι ισχύουν σε

κάθε περιοχή κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα, καθώς επίσης και τις εκπομπές αερίων που πρόκειται να υπολογιστούν. Αυτές οι πληροφορίες βέβαια μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε υποομάδες. Παραδείγματος χάριν, οι πηγές ενέργειας μπορούν να χωριστούν σύμφωνα με τον τύπο τους σε ορυκτά καύσιμα, στην πυρηνική ενέργεια, σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κ.λπ. Από την άλλη, τα ποσοτικά δεδομένα περιγράφουν τις τεχνολογικές αλλά και τις οικονομικές τιμές των παραμέτρων της κάθε τεχνολογίας, για κάθε περιοχή και σε κάθε χρονικό διάστημα.

3.1 Η Θεώρηση RES

Σύμφωνα με τη θεώρηση RES, κάθε μοντέλο αποτελείται από τρεις τύπους οντοτήτων. Τις οντότητες αυτές συνιστούν οι τεχνολογίες, που συχνά αποκαλούνται συναρτήσεις ή και διαδικασίες, τα προϊόντα και αγαθά που παράγονται και καταναλώνονται μέσω κάποιων διαδικασιών, και τέλος οι ροές προϊόντων που είναι οι συνδέσεις μεταξύ των διαδικασιών και προϊόντων.

Κατά παράδοση, οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων απεικονίζονται σε ένα διάγραμμα δικτύου, το οποίο καλείται και Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς (Reference Energy System ή RES). Οι διαδικασίες RES αναπαρίστανται ως πλαίσια και τα προϊόντα ως κάθετες γραμμές. Οι ροές προϊόντων αναπαρίστανται ως οριζόντιες συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων διαδικασιών και των γραμμών προϊόντων. Κάθε ροή είναι προσανατολισμένη και συνδέει ακριβώς έναν κόμβο διαδικασίας με έναν κόμβο προϊόντος. Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται ένα μικρό κομμάτι ενός υποθετικού RES που περιέχει μια ενιαία ζήτηση ενεργειακών υπηρεσιών, όπως είναι στην περίπτωση αυτή θέρμανση για κατοικίες.



Οι τρεις οντότητες στις οποίες και αναφερθήκαμε, επηρεάζονται από ορισμένες παραμέτρους. Για αρχή, οι διαδικασίες σχετίζονται με τρεις γενικές κατηγορίες παραμέτρων: τις τεχνικές, τις οικονομικές και πολιτικές και τέλος στα άνω και κάτω όρια. Οι τεχνικές παράμετροι περιλαμβάνουν την αποδοτικότητα (efficiency), τον παράγοντα διαθεσιμότητας, τις καταναλώσεις προϊόντων ανά μονάδα δραστηριότητας, τη λειτουργική διάρκεια ζωής μιας διαδικασίας, τη χρονική διάρκεια κατασκευής, τη χρονική διάρκεια αποσυναρμολόγησης. Από την άλλη, οι οικονομικές και πολιτικές παράμετροι περιλαμβάνουν τις δαπάνες που συνδέονται με την επένδυση, την αποσυναρμολόγηση, τη συντήρηση και τη λειτουργία μιας διαδικασίας. Επιπλέον, περιλαμβάνονται οι φόροι και οι επιχορηγήσεις, καθώς και η οικονομική ζωή μιας διαδικασίας, που είναι ο χρόνος κατά τη διάρκεια του οποίου το κόστος επένδυσης μιας διαδικασίας αποσβένεται. Τέλος, τα άνω και κάτω όρια μπορούν να επιβληθούν στην επένδυση, στην ικανότητα και στη δραστηριότητα μιας διαδικασίας.

Στη συνέχεια, αναφέρονται οι παράμετροι που σχετίζονται με τα προϊόντα. Ομοίως και αυτές κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες: τις τεχνικές, τις οικονομικές και στις βασισμένες στην ακολουθούμενη πολιτική. Στις τεχνικές είναι η γενική αποδοτικότητα, παραδείγματος χάριν η αποδοτικότητα ενός δικτύου μεταφοράς, και οι ετήσιες καμπύλες ζήτησης και φορτίων. Οι οικονομικές παράμετροι περιλαμβάνουν συμπληρωματικές δαπάνες, τους φόρους και τις επιχορηγήσεις στην παραγωγή προϊόντων. Στην περίπτωση μιας υπηρεσίας ζήτησης, οι πρόσθετες παράμετροι είναι η ελαστικότητα τιμών και ζήτησης (demand’s own-price elasticity), το συνολικό επιτρεπόμενο εύρος της διακύμανσης της τιμής από τη ζήτηση και ο αριθμός των για τη διακριτή προσέγγιση της καμπύλης. Τέλος, οι παράμετροι βασισμένες στη πολιτική περιλαμβάνουν τα όρια ζήτησης των προϊόντων, την παραγωγή προϊόντων, τις εισαγωγές και τις εξαγωγές προϊόντων από μια περιοχή.

Τέλος, παρατηρούμε ότι σε τρεις κατηγορίες χωρίζονται και οι παράμετροι που σχετίζονται με τις ροές. Μια ροή προϊόντων ή απλούστερα μια ροή είναι μια ποσότητα προϊόντων που παράγεται ή που καταναλώνεται σε μια δεδομένη διαδικασία. Κάθε διαδικασία έχει ροές που εισάγονται και ροές που εξάγονται, που είναι διαφορετικών τύπων μεταξύ τους (καύσιμα, υλικά, ζήτηση ή εκπομπές). Οι τεχνικές παράμετροι επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο του μέγιστου ή/και ελάχιστου μεριδίου μιας δεδομένη εισαγωγής ή της ροής παραγωγής που μπορεί να ληφθεί στην ίδια ομάδα προϊόντων. Παραδείγματος χάριν, μια ευέλικτη τουρμπίνα μπορεί να δεχτεί πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ως εισαγωγή και ο υπεύθυνος μοντελοποίησης μπορεί να χρησιμοποιήσει μια παράμετρο για να περιορίσει το μερίδιο του πετρελαίου το πολύ στο 40% της συνολικής εισαγωγής καυσίμων. Άλλες παράμετροι και σύνολα που καθορίζουν το ποσό ορισμένων εκροών σε σχέση με ορισμένες εισροές όπως

είναι για παράδειγμα η αποδοτικότητα και το ποσοστό εκπομπής από καύσιμα. Παραδείγματος χάριν, σε εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράμετρος που να καθορίζει το συνολικό ποσό καθαρισμένου προϊόντος ίσο με το 92% του συνολικού ποσού εισαγωγών στις εγκαταστάσεις καθαρισμού. Τελευταία, οι οικονομικές παράμετροι περιλαμβάνουν φόρους, επιχορηγήσεις και άλλες δαπάνες που συνδέονται με μια μεμονωμένη ροή διαδικασίας.

4. Η οικονομική λογική των μοντέλων μερικής ισορροπίας

Όλα τα μοντέλα μερικής ισορροπίας (partial equilibrium models) μοιράζονται ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα, την ταυτόχρονη διαμόρφωση της παραγωγής, της κατανάλωσης προϊόντων και των τιμών τους. Τέτοια προϊόντα μπορεί να είναι τα καύσιμα και οι υπηρεσίες ενέργειας. Η τιμή της παραγωγής προϊόντων έχει επιπτώσεις στη ζήτηση των προϊόντων, ενώ συγχρόνως η ζήτηση έχει επιπτώσεις στην τιμή τους. Μια αγορά λέγεται ότι βρίσκεται σε ισορροπία (equilibrium), όταν οι τιμές p^* και οι ποσότητες q^* είναι τέτοιες, ώστε κανένας καταναλωτής δεν επιθυμεί να αγοράσει ποσότητα μικρότερη από q^* σε τιμή p^* και κανένας παραγωγός δεν παράγει ποσότητα μεγαλύτερη από q^* σε τιμή p^*. Και το p^* και το q^* είναι διανύσματα, των οποίων η διάσταση είναι ίση με τον αριθμό των διαφορετικών προϊόντων που πρόκειται να μοντελοποιηθούν. Το σημείο ισορροπίας χαρακτηρίζεται από τρεις θεμελιώδεις ιδιότητες: τη γραμμικότητα (linearity), τη μεγιστοποίηση του πλεονάσματος (maximization of surplus) και την ανταγωνιστικότητα των αγορών ενέργειας (competitiveness of energy markets). Αυτές οι ιδιότητες οδηγούν σε δύο πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι η τιμολόγηση βάσει οριακού κόστους (marginal cost pricing) και η ιδιωτική συμπεριφορά μεγιστοποίησης κέρδους.

1. Γραμμικότητα (linearity)

Σε μια πραγματική οικονομία οι τεχνολογίες δεν διατίθενται σε συνεχή μεγέθη και αντίθετα περιγράφονται από διακριτά μεγέθη, όπως παραδείγματος χάριν συμβαίνει με τις εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας ή με ένα υδροηλεκτρικό πρόγραμμα. Το γεγονός ότι οι εξισώσεις των μοντέλων είναι γραμμικές, δεν σημαίνει ότι οι λειτουργίες παραγωγής συμπεριφέρονται γραμμικά. Στην πράξη, οι καμπύλες παραγωγής είναι ιδιαίτερα μη γραμμικές και μάλιστα κυρτές και για αυτό οι μη γραμμικές καμπύλες αντιπροσωπεύονται ως βαθμωτή ακολουθία γραμμικών καμπύλων μέσω διαφόρων τεχνικών γραμμικοποίησης.

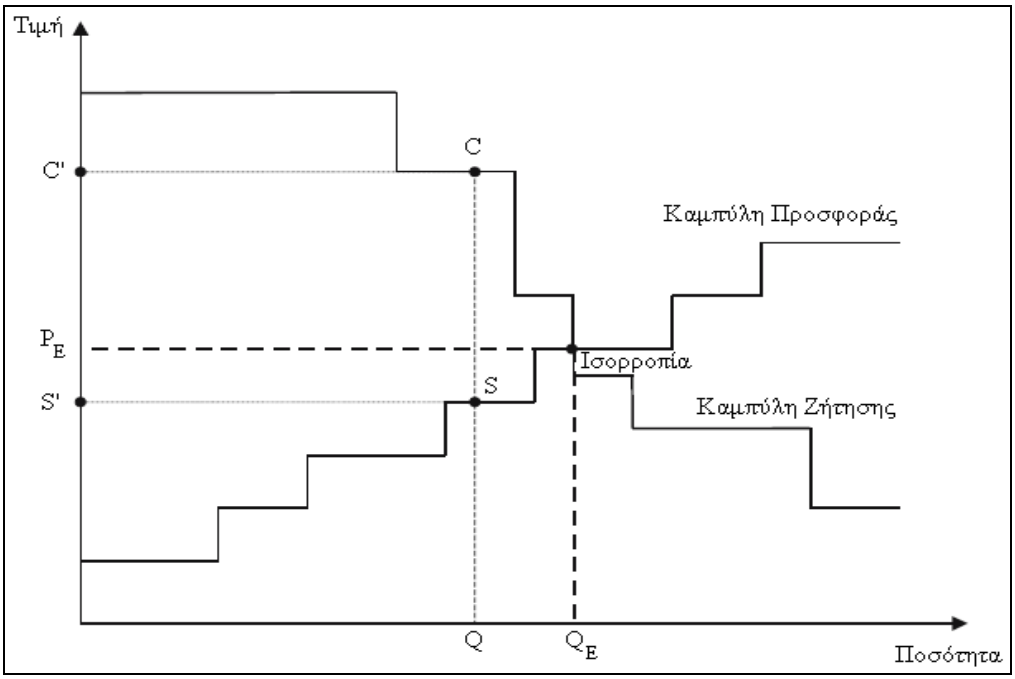
2. Η Μεγιστοποίηση του Πλεονάσματος

Το συνολικό πλεόνασμα μιας οικονομίας είναι το άθροισμα των πλεονασμάτων των προμηθευτών και των καταναλωτών. Οι προμηθευτές προϊόντων είναι οι τεχνολογίες που προμηθεύουν προϊόντα και οι καταναλωτές προϊόντων είναι οι τεχνολογίες ή η ζήτηση υπηρεσιών που καταναλώνουν προϊόντα. Πολλές τεχνολογίες μπορούν να είναι ταυτόχρονα προμηθευτές και καταναλωτές αλλά ποτέ των ίδιων προϊόντων. Κατά γενικό κανόνα μια τεχνολογία δεν πρέπει ποτέ να χαρακτηρίζεται από ταυτοποίηση των προϊόντων εισόδου και εξόδου, με μοναδική εξαίρεση τις τεχνολογίες αποθήκευσης.

Επομένως, για κάθε προϊόν το RES καθορίζει ένα σύνολο προμηθευτών και ένα σύνολο καταναλωτών. Το σύνολο προμηθευτών των προϊόντων περιγράφεται από μια καμπύλη προσφοράς (supply curve) και το οριακό κόστος παραγωγής των προϊόντων (marginal production cost) υπολογίζεται ως συνάρτηση της παρεχόμενης ποσότητας. Επισημαίνεται όμως πως η καμπύλη προσφοράς προϊόντων δεν διευκρινίζεται ρητά, αλλά παράγεται ενδογενώς από το ίδιο το μοντέλο.

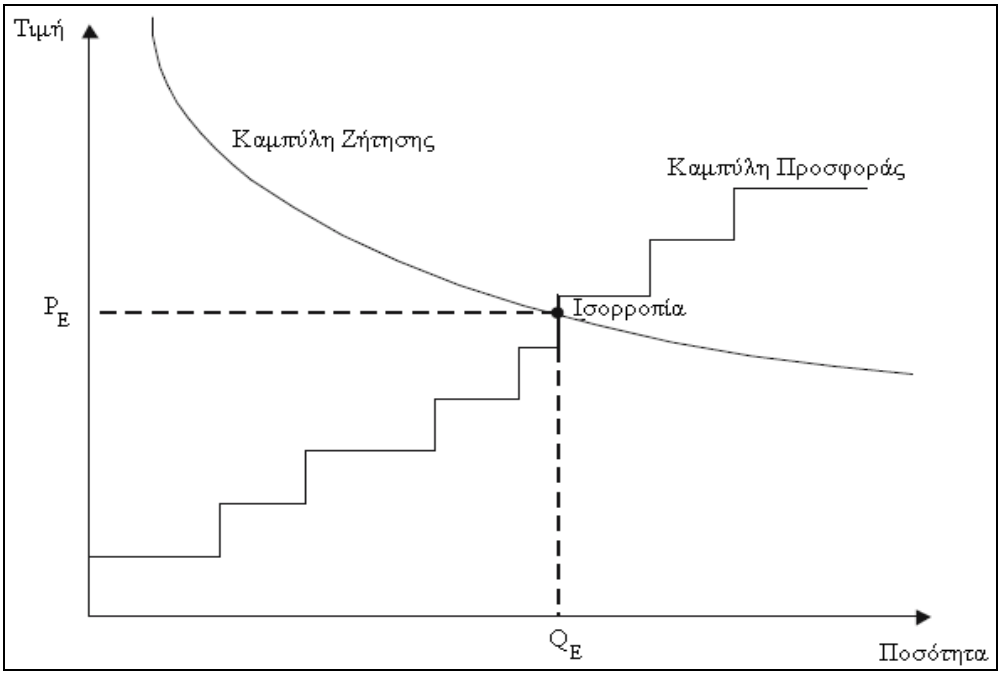
Από τη θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού διαπιστώνεται ότι η αντίστροφη καμπύλη προσφοράς είναι βηματική. Μάλιστα, κάθε οριζόντιο βήμα της αντίστροφης καμπύλης προσφοράς δείχνει το ορισμένο σύνολο τεχνολογιών που απαιτείται για την παραγωγή των προϊόντων. Δηλαδή, κάθε βήμα της αντίστροφης καμπύλης προσφοράς φανερώνει τη ποσοτική σχέση μεταξύ των τεχνολογιών και της παραγωγής. Με δεδομένο ότι οι παραχθείσες ποσότητες των προϊόντων συνεχώς αυξάνονται, συνεπάγουμε ότι ένας ή περισσότεροι πόροι του συνόλου των πόρων αρχίζουν να εξαντλούνται. Επομένως, το σύστημα πρέπει να καταφύγει σε ένα διαφορετικό σύνολο τεχνολογιών για την κάλυψη της παραγωγής προϊόντων. Κατά συνέπεια, κάθε αλλαγή στο σύνολο της παραγωγής δημιουργεί ένα βήμα στην καμπύλη παραγωγής που χαρακτηρίζεται από υψηλότερο κόστος από αυτό του προηγούμενου βήματος.

Κατά απόλυτα συμμετρικό τρόπο, το μοντέλο καθορίζει μια σειρά καμπύλων ζήτησης (demand curves). Η ζήτηση των προϊόντων μπορεί να διακριθεί σε δύο περιπτώσεις ανάλογα με τον τρόπο που συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο, δηλαδή αν είναι ενδογενής ή εξωγενής. Εάν η παραγωγή και η κατανάλωση ενός προϊόντος είναι ενδογενής του μοντέλου, τότε η καμπύλη ζήτησης κατασκευάζεται ενδογενώς ως μια ελαττωμένη βηματικά συνάρτηση της ποσότητας που απαιτείται (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 - Ισορροπία στην περίπτωση ενεργειακής μορφής όταν το μοντέλο ενδογενώς κατασκευάζει τόσο την καμπύλη προσφοράς όσο και την καμπύλη ζήτησης

Εάν η ζήτηση αφορά τη ζήτηση για μια ενεργειακή υπηρεσία, τότε η καμπύλη ζήτησης καθορίζεται εξωγενώς από το χρήστη μέσω της ελαστικότητας τιμής-ζήτησης. Η καμπύλη ζήτησης είναι σε αυτήν την περίπτωση μια ομαλά μειούμενη καμπύλη όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 4).



Σχήμα 4 - Ισορροπία στην περίπτωση ενεργειακής υπηρεσίας όπου ο χρήστης ρητά παρέχει την καμπύλη ζήτησης

Το σημείο ισορροπίας, δηλαδή της ισορροπίας της προσφοράς και της ζήτησης, υπολογίζεται από το σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς και της καμπύλης ζήτησης. Το σημείο ισορροπίας αντιστοιχεί σε μια ποσότητα ισορροπίας Q_E και σε μια τιμή ισορροπίας P_E. Ακόμη, το σημείο αυτό ερμηνεύεται με τον ακόλουθο τρόπο, ότι δηλαδή στην τιμή P_E οι προμηθευτές είναι πρόθυμοι να παρέχουν την ποσότητα Q_E και οι καταναλωτές είναι πρόθυμοι να αγοράσουν αυτήν την ποσότητα Q_E. Διευκρινίζεται, επίσης, ότι η ισορροπία αναφέρεται σε πολλά προϊόντα και, ως εκ τούτου, είναι ένα πολυδιάστατο ανάλογο των προαναφερόμενων, όπου Q_E και το P_E είναι διανύσματα και όχι βαθμωτά μεγέθη.

Χρησιμοποιώντας το Σχήμα 3, ο καθορισμός του πλεονάσματος των προμηθευτών που αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο σημείο S στην αντίστροφη καμπύλη προσφοράς είναι το καθαρό εισόδημα που συνδέεται με τα προϊόντα, δηλαδή η περιοχή μεταξύ του οριζόντιου τμήματος SS' και της αντίστροφης καμπύλης προσφοράς. Ομοίως, το πλεόνασμα καταναλωτή για ένα σημείο C στην αντίστροφη καμπύλη ζήτησης, ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ του τμήματος CC' και της αντίστροφης καμπύλης ζήτησης. Αυτή η περιοχή ορίζει την ευκαιρία

κέρδους του καταναλωτή που αγοράζει το προϊόν σε μια τιμή χαμηλότερη από την τιμή που είναι πρόθυμος να πληρώσει.

Για μια δεδομένη ποσότητα Q, το συνολικό πλεόνασμα (προμηθευτών και καταναλωτών) είναι η περιοχή που αποτελείται μεταξύ των δύο αντίστροφων καμπύλων στα αριστερά του Q. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3, το συνολικό πλεόνασμα μεγιστοποιείται ακριβώς όταν το Q είναι ίσο με την ποσότητα ισορροπίας Q_E. Επομένως, η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης επιτυγχάνεται όταν το συνολικό πλεόνασμα μεγιστοποιείται.

3. Ανταγωνιστικές Αγορές Ενέργειας

   Ένα τυπικό ενεργειακό μοντέλο υποθέτει την ύπαρξη ανταγωνιστικών αγορών. Από την υπόθεση αυτή συνεπάγεται ότι η τιμή αγοράς των προϊόντων ισούται με το οριακό κόστος παραγωγής τους. Βέβαια, το συμπέρασμα αυτό αποτελεί τυποποιημένο αποτέλεσμα της μικροοικονομικής θεωρίας. Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση μπορεί να προκύψει από το είδος των υποθέσεων της ανταγωνιστικότητας. Ενδέχεται κάθε οικονομικός φορέας στο μοντέλο να προσπαθεί να μεγιστοποιεί το δικό του ιδιωτικό κέρδος, ενώ ο πρωταρχικός στόχος του μοντέλου είναι να μεγιστοποιηθεί το συνολικό πλεόνασμα. Αποτέλεσμα της ειδικής αυτής περίπτωσης είναι να υπάρξει μια μετατόπιση της λογικής του μοντέλου από ένα παγκόσμιο, κοινωνικό μοντέλο (μεγιστοποίηση πλεονάσματος) σε ένα τοπικό, αποκεντρωμένο μοντέλο (μεμονωμένη μεγιστοποίηση χρησιμότητας). Αυτή η εξαίρεση θα μπορούσε να ισχύσει, μόνο και μόνο αν οι μεμονωμένοι παραγωγοί και οι μεμονωμένοι καταναλωτές δεν διαθέτουν αγοραστική δύναμη.

4. Αντικειμενική Συνάρτηση: Συνολικό Προεξοφλημένο Κόστος Συστημάτων

   Ο στόχος της μεγιστοποίησης του πλεονάσματος (surplus maximization objective) μπορεί και μετασχηματίζεται σε έναν ισοδύναμο στόχο ελαχιστοποίησης δαπανών (cost minimization). Ως δαπάνες ορίζονται τα συνολικά κόστη του ενεργειακού συστήματος (total system cost). Επομένως, ο στόχος του μοντέλου είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος του συστήματος. Όλα τα στοιχεία δαπανών αναφέρονται σε ένα επιλεγμένο έτος. Γενικά, για κάθε έτος, το συνολικό κόστος είναι δυνατό να περιλαμβάνει στοιχεία από τα ακόλουθα:

- Κύριες δαπάνες (Capital Costs) που αναλαμβάνονται για την επένδυση ή ακόμη και για την αποσυναρμολόγηση των διαδικασιών.

- Σταθερές και μεταβλητές ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (Operation and Maintenance Costs). Ακόμη και άλλες ετήσιες δαπάνες που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της αποσυναρμολόγησης των τεχνολογιών.

- Δαπάνες που απαιτούνται για τις εξωγενείς εισαγωγές (exogenous imports) και για την εσωτερική παραγωγή των πόρων.

- Εισοδήματα από τις εξωγενείς εξαγωγές.

- Δαπάνες παράδοσης (delivery costs) για τα απαραίτητα προϊόντα που καταναλώνονται στις διαδικασίες.

- Φόροι και επιχορηγήσεις που συνδέονται με τις ροές προϊόντων και τις δραστηριότητες ή τις επενδύσεις.

- Εισοδήματα από την ανάκτηση ενσωματωμένων προϊόντων. Ειδικότερα, τα εισοδήματα αυτά προέρχονται από την αποσυναρμολόγηση μιας διαδικασίας.

- Υπολλειματική αξία των διαδικασιών και των ενσωματωμένων προϊόντων στο τέλος του ορίζοντα προγραμματισμού.

- Απώλεια ευημερίας ή πλούτου (Welfare loss) ως αποτέλεσμα των μειωμένων απαιτήσεων τελικής χρήσης.

5. Περιορισμοί

   Στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους, το μοντέλο υποχρεώνεται να ικανοποιήσει έναν αριθμό από περιορισμούς που μπορούν να συναντηθούν στη βιβλιογραφία με την έκφραση εξισώσεις του μοντέλου. Οι περιορισμοί αυτοί εκφράζουν τις φυσικές και λογικές σχέσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν προκειμένου να απεικονιστεί κατάλληλα το σχετικό ενεργειακό σύστημα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εν συντομία οι κύριοι τύποι περιορισμών.

5.1 Συντήρηση των Επενδύσεων

Η επένδυση σε μια τεχνολογία αυξάνει την εγκατεστημένη δυναμικότητά της (installed capacity) κατά τη διάρκεια της φυσικής ζωής της τεχνολογίας αυτής. Στο τέλος της φυσικής ζωής της, η

συνολική δυναμικότητα για αυτήν την τεχνολογία μειώνεται κατά το ίδιο ποσό. Κατά τον υπολογισμό της διαθέσιμης δυναμικότητας σε κάποιο χρονικό διάστημα, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη όλες τις επενδύσεις μέχρι εκείνη την περίοδο. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό πως από τις επενδύσεις που λαμβάνονται υπόψη, μερικές μπορεί να είχαν γίνει πριν από την αρχική περίοδο αλλά εξακολουθούν να είναι ακόμα σε κατάσταση λειτουργίας (operating condition), καθώς και άλλες που έχουν αποφασιστεί από το μοντέλο στην ή μετά από την αρχική περίοδο μέχρι και την εν λόγω περίοδο.

Η συνολική διαθέσιμη δυναμικότητα (total available capacity) για κάθε τεχνολογία te, στην περίοδο t, είναι ίση με το ποσό των επενδύσεων που γίνονται από το μοντέλο στις προηγούμενες και τρέχουσες περιόδους και των οποίων η φυσική ζωή δεν έχει τελειώσει ακόμα συν την αρχική δυναμικότητα που είναι ακόμα διαθέσιμη.

5.2 Χρήση της δυναμικότητας

Σε κάθε χρονική περίοδο το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιήσει μέρος ή το σύνολο της εγκατεστημένης δυναμικότητας. Ειδικότερα, το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να αποφασίσει να χρησιμοποιήσει ένα μέρος από τη διαθέσιμη δυναμικότητα κατά τη διάρκεια μιας ή περισσότερων περιόδων, με την προϋπόθεση ότι μια τέτοια απόφαση συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του γενικού κόστους. Οπότε, ορίζεται ο παρακάτω περιορισμός που απαιτεί η δραστηριότητα κάθε τεχνολογία te για περίοδο t να μην μπορεί να υπερβεί τη διαθέσιμη δυναμικότητά της.

5.3 Εξίσωση ισορροπίας προϊόντος

Οι περιορισμοί αυτού του τύπου θέλουν σε κάθε χρονική στιγμή, την παραγωγή μιας περιοχής συν τις εισαγωγές από άλλες περιοχές κάθε προϊόντος να ισούται με την κατανάλωση των προϊόντων στην περιοχή αυτή συν την ποσότητα καθενός προϊόντος που εξάγεται.

5.4 Καθορισμός των σχέσεων ροής σε μια διαδικασία

Μια διαδικασία μιας ή περισσοτέρων ροών ετερογενών προϊόντων καθορίζεται ουσιαστικά από μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές ροής εισόδου και εξόδου. Εάν οι σχέσεις μεταξύ αυτών των ροών απουσίαζαν, τότε η διαδικασία θα ήταν απολύτως ακαθόριστη. Στην ουσία οι έξοδοι θα ήταν πλήρως ανεξάρτητοι

από τις εισόδους. Επομένως για το παραπάνω λόγο, χρειάζονται ένας ή περισσότεροι περιορισμοί που να συνδέουν τις ροές εξόδου προς τις ροές εισόδου μέσω μιας σταθεράς που σχετίζεται με την έννοια της αποδοτικότητα (efficiency). Με λίγα λόγια, η σταθερά αυτή θα φανερώνει μια αναλογία μεταξύ των ροών εξόδου και εισόδου.

5.5 Περιορισμοί στα προϊόντα

Οι περιορισμοί που επιβάλλονται στα προϊόντα κατά τη διάρκεια περισσότερων από μιας περιόδου, είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στην περίπτωση οριοθέτησης των εκπομπών ή της εξόρυξης ορυκτών καυσίμων. Με την εισαγωγή των κατάλληλων περιορισμών για τις εκπομπές, ο χρήστης υποχρεώνεται να περιορίσει τις εκπομπές σε συγκεκριμένους τομείς. Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τους περιορισμούς εκπομπής που ισχύουν για τις διάφορες περιοχές, στην περίπτωση που θα επιθυμούσε παράλληλα να εκμεταλλευτεί το δικαίωμα εμπορίας των αδειών εκπομπής. Ανεξάρτητα ή ταυτόχρονα με τους περιορισμούς των εκπομπών, θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένας φόρος ή μια ποινική ρήτρα σε κάθε παραχθείσα (ή καταναλωθείσα) μονάδα προϊόντος είτε το προϊόν είναι ενεργειακής μορφής είτε πρόκειται για εκπομπές ρύπων .

5.6 Περιορισμοί χρήστη

Εκτός από τους τυποποιημένους περιορισμούς, ο χρήστης έχει το περιθώριο να εισάγει πρόσθετους περιορισμούς για να εκφράσει ειδικούς όρους και συνθήκες. Για παράδειγμα, ένας πρόσθετος περιορισμός που μπορεί να υπάρξει σχετίζεται με την επένδυση σε νέο δυναμικό πυρηνικής ενέργειας ή να υπαγορεύει ότι ένα συγκεκριμένο ποσοστό του νέου δυναμικού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

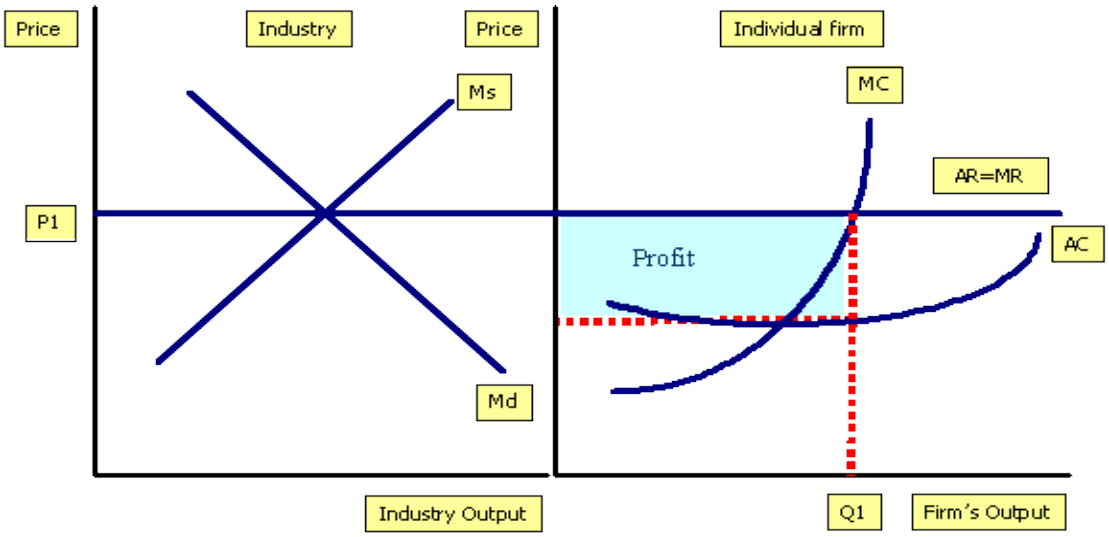
3.4 Ταξινόμηση των μοντέλων βελτιστοποίησης

3.4.1 Μοντέλα βελτιστοποίησης τέλειων ανταγωνιστικών αγορών

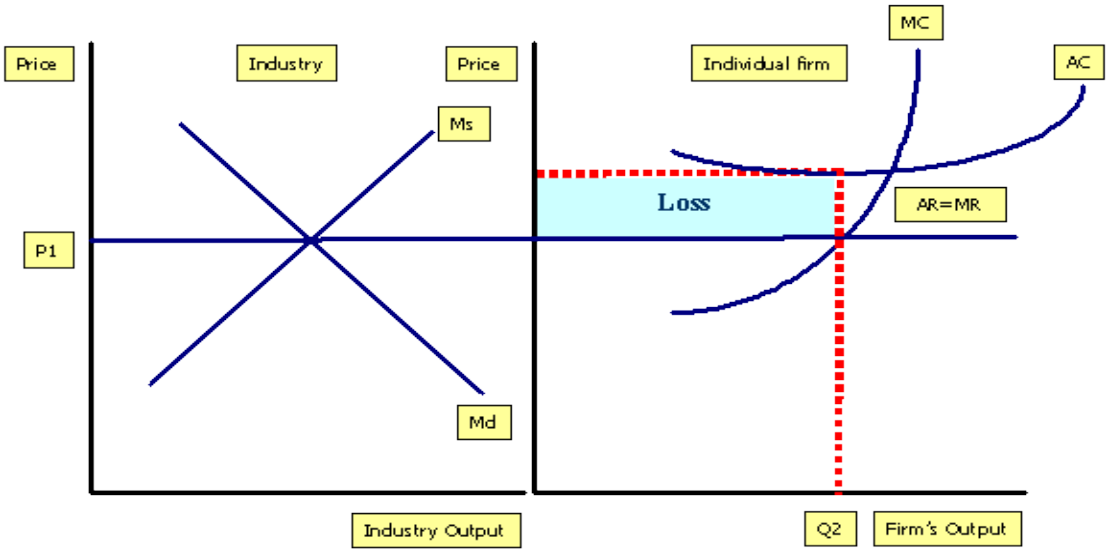
Όπως προαναφέρθηκε, τα μοντέλα βελτιστοποίησης ταξινομούνται σε δύο ευρείες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της ανταγωνιστικότητας της αγοράς. Έτσι, έχουμε τα μοντέλα που υποθέτουν συνθήκες τέλειου ανταγωνισμού και μοντέλα που υποθέτουν συνθήκες ατελούς ανταγωνισμού.

Μια ανταγωνιστική αγορά χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από την ευκαιρία που προσφέρει σε νέες επιχειρήσεις να εισέλθουν στην αγορά και στις υπάρχουσες επιχειρήσεις να αποχωρήσουν. Έτσι, υπάρχει πληθώρα ισοδύναμων σχεδόν επιχειρήσεων που καλύπτουν τη ζήτηση των καταναλωτών προσφέροντας πανομοιότυπα αγαθά. Υπάρχει ομοιογένεια αγαθών, δηλαδή είτε είναι ακριβώς ίδια είτε αντιλαμβάνονται ως ίδια από τους καταναλωτές. Εξαιτίας αυτής της πληθώρας δεν ασκούν καμία απολύτως επιρροή στη διαμόρφωση της τιμής του αγαθού. Μάλιστα, καμία επιρροή στην τιμή του αγαθού δεν έχουν ούτε οι καταναλωτές. Επιπλέον, σε μια αγορά αυτής της μορφής απουσιάζουν κρατικές παρεμβάσεις για περιορισμό της ζήτησης. Με άλλα λόγια, οι εταιρείες γίνονται αποδέκτες τιμών (Price takers). Ακόμη, γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι καταναλωτές είναι καλώς πληροφορημένοι για την τιμή του αγαθού. Αυτό σημαίνει ότι εύκολα διαπιστώνουν τυχόν υπερχρεώσεις τιμών και προτιμούν να αγοράσουν από άλλες επιχειρήσεις. Ειδικότερα στην περίπτωση μιας ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν αφθονούν και για αυτό θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τιμή της ενέργειας, αν δεν λειτουργούσαν υπό καθεστώς ανταγωνιστικότητας. Ο φόβος της ιδέας εισροής νέων επιχειρήσεων τους αποτρέπει από το να προχωρήσουν σε αυξήσεις της τιμής της ενέργειας.

Υπό βραχυπρόθεσμη σκοπιά το σημείο ισορροπίας της αγοράς καθορίζεται από την τομή της καμπύλης ζήτησης και προσφοράς ενέργειας. Τονίζεται ότι η καμπύλη της ζήτησης είναι τελείως ελαστική και ταυτίζεται με τις καμπύλες οριακών και μέσων εσόδων. Γενική αρχή είναι ότι μια εταιρεία κερδίζει όταν τα οριακά έσοδα της $MR = AR$ ισούνται με τα οριακά κόστη της MC. Η πιθανότητα κέρδους ή ζημίας κάθε επιχείρησης εξαρτάται από τις βραχυπρόθεσμες καμπύλες κόστους της. Πιο αναλυτικά συνδέεται με το αν η τιμή του αγαθού είναι μεγαλύτερη ή όχι του μέσου συνολικού κόστους AC. Εάν είναι το σημείο ισορροπίας πάνω του μέσου συνολικού κόστους, τότε η εταιρεία παρουσιάζει κέρδος (σχήμα 5). Το ακριβές αντίθετο αν είναι κάτω του μέσου συνολικού κόστους που παρουσιάζει ζημία (σχήμα 6).



Σχήμα 5 - περίπτωση κέρδους



Σχήμα 6- περίπτωση ζημίας

Μακροπρόθεσμα, παρατηρείται ότι οι επιχειρήσεις που παρουσιάζουν ζημίες αποφασίζουν να περιορίσουν την προσφορά τους και αφήνουν νέες εισέλθουν στην αγορά. Με την υπόθεση σταθερής ζήτησης, διαπιστώνεται ότι η προσφορά μειώνεται. Άρα, το νέο σημείο ισορροπίας διαμορφώνεται χαμηλότερα και όλες οι επιχειρήσεις ωφελούνται. Δεν υφίσταται πλέον πιθανότητα εξόδου ή εισόδου επιχειρήσεων.

Καταλήγοντας τονίζεται ότι είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα η τιμή του αγαθού ισούται με το οριακό κόστος των επιχειρήσεων παραγωγής. Για αυτό ακριβώς το λόγο, ότι δηλαδή οι καταναλωτές επιβαρύνονται του κόστους επιχειρήσεων, μια ανταγωνιστική αγορά συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη. Από την άλλη, η

αύξηση αποδοτικότητας της παραγωγής δεν είναι πάντα εξασφαλισμένη. Μόνο μακροπρόθεσμα επιτυγχάνεται που οι καμπύλες των μέσων και οριακών εσόδων, $MR = AR$, είναι εφαπτόμενες του μέσου συνολικού κόστους AC. Συμπεραίνεται ότι μια αγορά που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες ουσιαστικά δεν προάγει τον ανταγωνισμό μεταξύ των επιχειρήσεων, εφόσον τα πάντα θεωρούνται δεδομένα.

Απαριθμώντας τα κύρια χαρακτηριστικά μιας τέλειας ανταγωνιστικής αγοράς, θα πρέπει να αναφερθούμε ειδικότερα στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Στα μοντέλα, λοιπόν, που αφορούν μια ενεργειακή ανταγωνιστική αγορά η οποία περιορίζεται από εθνικούς κανονισμούς για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα παρατηρούμε το εξής ουσιαστικό. Τα δικαιώματα εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, για τα οποία θα γίνει λόγος στο επόμενο κεφάλαιο, δεν μπορούν να συμπεριληφθούν ενδογενώς στις απαιτήσεις του μοντέλου. Οπότε, παρέχονται εξωγενώς από το χρήστη του μοντέλου. Η ανάγκη αυτή προέκυψε από το γεγονός ότι η αξία ενός δικαιώματος εκπομπής είναι μηδενική ή το συνολικό άθροισμα των εκπομπών ισούται με το ανώτατο όριο. Οπότε, η αντικειμενική συνάρτηση κόστους μιας κλειστής ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας δεν περιέχει τη μεταβλητή των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω του ότι δεν μπορεί να την προσδιορίσει. Καταλήγουμε, λοιπόν, να καθορίζονται από τον ίδιο τον χρήστη.

Αντίθετα, τα μοντέλα εκείνα που καταπιάνονται με μια ατελή ανταγωνιστική ενεργειακή αγορά μπορούν και συμπεριλαμβάνουν ενδογενώς τα δικαιώματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ως παράδειγμα μπορούμε να φέρουμε την εργασία Dip_JH_final _250808_2.doc που αν και μελετά ένα ενεργειακό μοντέλο προσομοίωσης, παραμένει μια αντιπροσωπευτική περίπτωση. Το μοντέλο στηρίζεται στην αρχή της συμπληρωματικότητας. Διαθέτει παίκτες που αποφασίζουν αρχικά ποιες από τις δοθείσες τεχνολογίες παραγωγής θα χρησιμοποιήσουν και κατόπιν προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Το κόστος αυτών επηρεάζεται από τρείς παραμέτρους, το μεταβλητό κόστος, το επενδυτικό κόστος και τέλος, την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνιστούν τη συνάρτηση κόστους του εκάστοτε παίκτη-παραγωγού και συνοδεύονται από μια σειρά περιορισμών. Το γεγονός, λοιπόν, ότι η αξία των δικαιωμάτων εκπομπών αλλά και η ζήτηση αυτών συμπεριλαμβάνονται στην αντικειμενική συνάρτηση κόστους σημαίνει ότι εξετάζονται ενδογενώς από το μοντέλο. Από τους περιορισμούς αυτούς αξίζει να επισημάνουμε έναν σημαντικό, ο οποίος και αφορά τη ζήτηση των δικαιωμάτων που οφείλει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των συνολικών εκπομπών της παραγωγής που επιλέγει κάθε παίκτης. Ταυτόχρονα, η συνολική ζήτηση για δικαιώματα εκπομπών πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της παγκόσμιας κατανομής δικαιωμάτων.

3.4.2 Μοντέλα βελτιστοποίησης ατελών ανταγωνιστικών αγορών

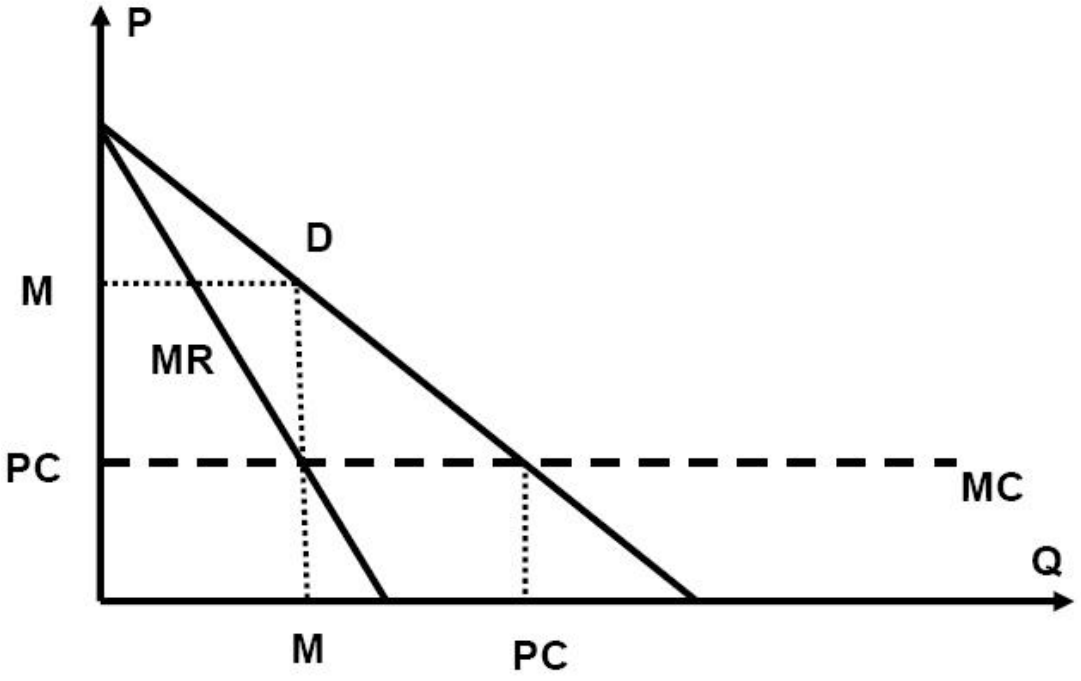
Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα μοντέλα βελτιστοποίησης που οι αγορές τις οποίες αναλύουν χαρακτηρίζονται από συνθήκες ατελούς ανταγωνισμού (imperfect competition). Τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι καταλληλότερα, μιας και ανταποκρίνονται σε μεγαλύτερο βαθμό στις πραγματικές συνθήκες της αγοράς. Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία υλοποίησης και εφαρμογής.

Επί τον πλείστον, τα μοντέλα αυτά έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση της έννοιας χρησιμότητας (utility). Η χρησιμότητα είναι το μέτρο της αντίστοιχης συνάρτησης και φανερώνει την ικανοποίηση ή αλλιώς την επιθυμία που λαμβάνουν τα μέλη μιας αγοράς από την κατανάλωση τόσο αγαθών όσο και υπηρεσιών. Οι κλασικοί υποστηρικτές της έννοιας αυτής, όπως ο Jeremmy Beuthan (1748-1832) και ο John Benthan (1806-1876), κήρυτταν πως η κοινωνία οφείλει να στοχεύει στη μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας όλων των προσώπων με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση και ευχαρίστηση του ευρύτερου δυνατού αριθμού ανθρώπων. Μεταγενέστεροι, όπως ο John Rawls (1921-2002),υποστηρίζουν πως η κοινωνία πρέπει να μεριμνά για την μεγιστοποίηση της προσωπικής χρησιμότητας των ατόμων, λαμβάνοντας όμως την ελάχιστη ποσότητα της χρησιμότητας. Τα εν λόγω μοντέλα, κατά κύριο λόγο, στηρίζονται στην έννοια της συμπληρωματικότητας (complementarity) προκειμένου να επιτύχουν το στόχο τους.

Σε μια αγορά με ατελή ανταγωνισμό, η οποία κάλλιστα χαρακτηρίζεται ως μια μορφή μονοπωλίου, διακρίνουμε τη δύναμη που διαθέτουν τα μέλη της να επηρεάζουν τις συνθήκες και καταστάσεις της αγοράς αυτής. Πιο συγκεκριμένα, οι εταιρίες έχουν την ικανότητα να επηρεάσουν την τιμή της αγοράς, στην οποία αγορά διαθέτουν τα προϊόντα τους. Ωστόσο, οι επιχειρήσεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι οι καταναλωτές δεν ανταποκρίνονται θετικά στις αυξήσεις των τιμών και παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει πληθώρα εναλλακτικών προμηθευτών, αυτοί θα αναζητήσουν και θα προτιμήσουν την ανταγωνιστικότερη εταιρεία-προμηθευτή. Το φαινόμενο αυτό συναντάται στην βιβλιογραφία με τον όρο «Επιβολή τιμών» (Price Setting). Στην ουσία όμως, ακριβώς γιατί δραστηριοποιούνται λίγες αριθμητικά επιχειρήσεις δεν θα μπορέσουν όλοι οι καταναλωτές να στραφούν σε μια εναλλακτική επιλογή και έτσι θα επωμιστούν τις αυξήσεις.

Ενώ σε μια αγορά τέλειου ανταγωνισμού, στην οποία μετέχει πλήθος εταιρειών και μάλιστα για το λόγο αυτό δεν διαθέτουν καμία επιρροή στη διαμόρφωση της τιμής των προϊόντων, η τιμή διαμορφώνεται και ορίζεται ίση με το οριακό κόστος παραγωγής, αντίθετα όπως φαίνεται και στο σχήμα, η τιμή σε μια μονοπωλιακή αγορά επιλέγεται με κριτήριο την εξίσωση του οριακού κόστους παραγωγής με τα οριακά κέρδη. Ακόμη μια διαφορά που παρατηρούμε ανάμεσα στις δυο μορφές αυτές ανταγωνισμού είναι πως σε μια μονοπωλιακή αγορά είναι σχεδόν αδύνατη η εισροή νέων επιχειρήσεων στην αγορά. Το κόστος εισόδου για τις νέες επιχειρήσεις

κυμαίνεται σε τόσο υψηλά επίπεδα, που καταλήγει να είναι αποτρεπτικός παράγοντας. Έτσι, φτάνουμε να κυριαρχούν οι λίγες και ισχυρές επιχειρήσεις.



Σχήμα 7 – Απεικόνιση και Διαφορές του μονοπωλίου και τέλειου ανταγωνισμού, όπου Μ για το μονοπώλιο και PC για τον τέλειο ανταγωνισμό

Ο βαθμός της δύναμης των επιχειρήσεων, που αναφέραμε προηγουμένως, δέχεται διακυμάνσεις και εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες είναι η αγοραστική δύναμη των καταναλωτών. Η δύναμη των εταιρειών στην αγορά και η αγοραστική δύναμη των καταναλωτών συγκρούονται και για αυτό επιχειρείται η εύρεση της ευαίσθητης ισορροπίας. Εκτός από τον αριθμό των επιχειρήσεων, κρίσιμο ρόλο έχει το μέγεθος της επιχείρησης. Εάν σε μια επιχείρηση ανήκει το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς, τότε αυτή θα κυριαρχεί ακόμη και αν υπάρχουν αρκετές μικρές ανταγωνίστριες επιχειρήσεις. Αξιόλογο είναι πως κάποια αγαθά και υπηρεσίες είναι απαραίτητες και πρώτης ανάγκης όπως συχνά αποκαλούνται. Για παράδειγμα, σε αυτή την κατηγορία αγαθών και υπηρεσιών ανήκουν το ηλεκτρικό ρεύμα, το πόσιμο νερό και η θέρμανση. Εξαιτίας, λοιπόν, της αναγκαιότητας τους, οι επιχειρήσεις έχουν το περιθώριο να πραγματοποιήσουν το μέγεθος των αυξήσεων που επιθυμούν καθώς γνωρίζουν ότι η ζήτηση αυτών δεν θα επηρεαστεί. Τέλος, οι επιχειρήσεις που κερδίζουν αναλαμβάνοντας τη μεταφορά των προϊόντων ή εναλλάσσουν την παραγωγή τους για να ταιριάζουν στην αγορά, μπορούν σε ένα βαθμό να επηρεάσουν και να κρατήσουν την τιμή της αγοράς στην οποία ανήκουν σε χαμηλότερα επίπεδα. Παραδείγματος χάρη, θεωρώ μια περιοχή Α ατελούς ανταγωνισμού με υψηλές τιμές ώστε να «χτιστεί» μια γραμμή μεταφοράς με

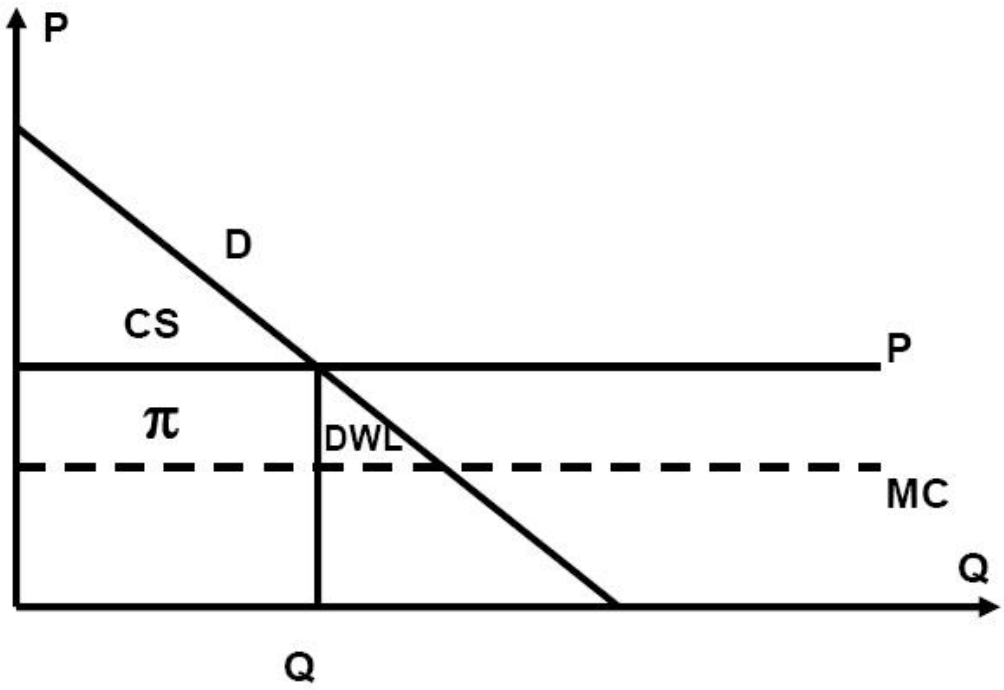
μια περιοχή Β τέλειου ανταγωνισμού και άφθονης δυναμικότητας. Όταν ενωθούν οι δύο αυτές περιοχές, οι παραγωγοί της Α θα ζημιωθούν μιας και δεν μπορούν να προχωρήσουν σε αυξήσεις αν και εφόσον το επιθυμούσαν. Ένα προχωρούσαν σε μια τέτοια κίνηση, η σύνδεση των δύο περιοχών δεν θα ήταν συμφέρουσα και δεν θα είχε διάρκεια ζωής.

3.4.2.1 Εξάρτηση της ευημερίας με τις δυνάμεις της αγοράς

Εάν σε μια αγορά, όπως του ατελούς ανταγωνισμού, οι επιχειρήσεις μπορούν και επηρεάζουν τις τιμές των προϊόντων τους, τότε βλέπουμε πως αυξάνουν σημαντικά τα κέρδη τους. Εν αντιθέσει με τους καταναλωτές που βλέπουν το πλεόνασμα τους συνεχώς να μειώνεται. Ακόμη και αν στην ομάδα των καταναλωτών συμπεριληφθούν οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων, οι απώλειες που υφίστανται δεν αντισταθμίζονται με τα κέρδη των εταιρειών. Μάλιστα, ο κοινωνικός πλούτος επιβαρύνεται με την αύξηση της δύναμης των επιχειρήσεων.

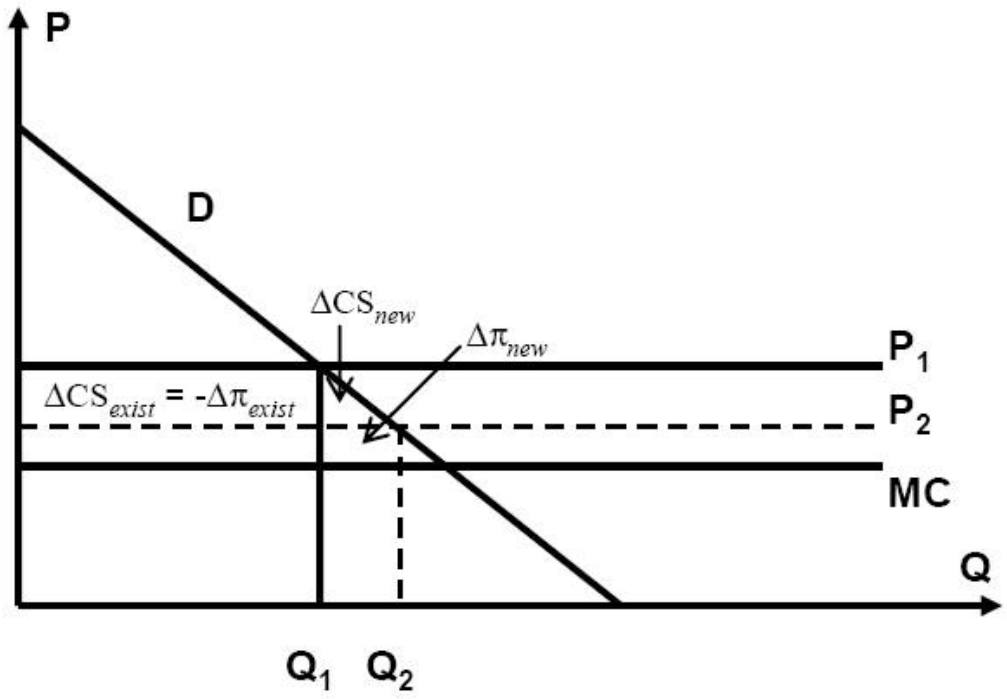
Ο κοινωνικός πλούτος ορίζεται ως το άθροισμα των κερδών των επιχειρήσεων και του πλεονάσματος των επιχειρήσεων. Δηλαδή, υπολογίζεται ως: $WS = \pi + CS$. Το πλεόνασμα των καταναλωτών CS προκύπτει από τη διαφορά της χρησιμότητας που λαμβάνουν με την κατανάλωση των αγαθών και του κόστους απόκτησης τους. Τυπικά, οι διαφορετικοί καταναλωτές χαρακτηρίζονται και από διαφορετικά πλεονάσματα, λόγω της διαφορετικής χρησιμότητας που αποκομίζουν από τα αγαθά. Ωστόσο υποθέτοντας ότι όλοι οι καταναλωτές πραγματοποιούν αγορές με κριτήριο το πλεόνασμα τους, τότε βλέπουμε πως υπάρχει οριακός καταναλωτής με μηδενικό πλεόνασμα. Στην περίπτωση που αυξηθεί έστω και λίγο η τιμή του αγαθού, τότε αυτός θα πάψει να το αγοράζει και να στραφεί σε νέα αγαθά.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται πως απεικονίζονται τα κέρδη των εταιρειών αλλά και το πλεόνασμα των καταναλωτών μιας αγοράς. Επίσης, φαίνεται η ποσότητα του μη χρησιμοποιημένου πλεονάσματος των καταναλωτών DWL .



Σχήμα 8 - Απεικόνιση του κοινωνικού πλούτου ή ευημερίας

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η εξάρτηση που αναφέραμε παραπάνω, γίνεται η υπόθεση ότι η τιμή της αγοράς μειώνεται για να πλησιάσει το οριακό κόστος. Διαπιστώνεται τότε, και όπως εξάγεται και στο σχήμα που ακολουθεί, το υπάρχον πλεόνασμα των καταναλωτών αυξάνεται. Από την άλλη, τα κέρδη των επιχειρήσεων μειώνονται. Επίσης, δημιουργείται και νέο πλεόνασμα καταναλωτών και για αυτό το συνολικό πλεόνασμα αυτών καταλήγουμε πως αυξάνεται. Για τους παραγωγούς, ακόμη, υπάρχει κέρδος λόγω των νέων καταναλωτών.



Σχήμα 9

Από το παραπάνω παράδειγμα καταλήγουμε πως όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες του οριακού κόστους, τότε αυξάνονται τα κέρδη των επιχειρήσεων και το πλεόνασμα των καταναλωτών. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει, όταν οι τιμές είναι μικρότερες του οριακού κόστους. Εξ ορισμού, η τιμή μιας ανταγωνιστικής αγοράς ισούται με το οριακό κόστος. Οπότε, εξαιτίας των παραπάνω λόγων εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η ανταγωνιστική αγορά συνεπάγεται μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλούτου. Εν αντιθέσει με τη μονοπωλιακή αγορά που οι αυξήσεις της τιμής, προκαλούν αναπόφευκτες μειώσεις του κοινωνικού πλούτου.

Επιπρόσθετα, μια ακόμη αιτία της απώλειας του κοινωνικού πλούτου είναι η διαφοροποίηση του οριακού κόστους των εταιρειών. Δεν είναι εφικτό όλες οι επιχειρήσεις να παράγουν με το ίδιο κόστος. Κάθε μια επιχείρηση χαρακτηρίζεται από προσωπική αποδοτικότητα των εργατών της, εμπειρία και διάρκεια ζωής που την κάνουν να ξεχωρίζει από τους ανταγωνιστές της. Τέλος, απώλεια πλούτου πιθανόν να προκαλέσει η είσοδος μια νέας μη αποδοτικής εταιρείας στην αγορά, δηλαδή μιας εταιρείας με υψηλό οριακό κόστος παραγωγής. Παρόλο που όπως ήδη είπαμε το κόστος εισόδου είναι τόσο υψηλό, η επιλογή μιας εταιρείας να ανταγωνιστεί με τις υπάρχουσες προκαλεί μια μικρή αύξηση της συνολικής παραγωγής αλλά ταυτόχρονα περιορίζει την παραγωγή των αποδοτικών επιχειρήσεων. Για αυτό το λόγο, ο κοινωνικός πλούτος ίσως υποστεί απώλειες.

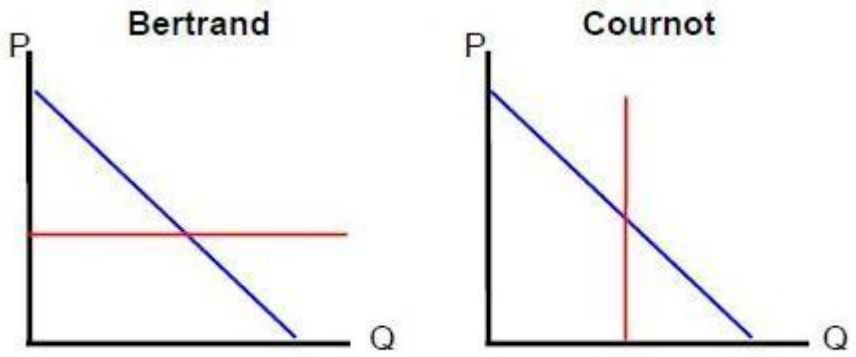
3.4.3 Διάκριση των ατελών ανταγωνιστικών αγορών

Η θεωρία της μακροοικονομίας και μικροοικονομίας αναφέρεται σε δύο τύπους ατελών ανταγωνιστικών αγορών, τον τύπο Cournot και τον τύπο Bertrand. Οι δύο αυτές μορφές ατελούς ανταγωνισμού διαφέρουν σε γενικές γραμμές στις μεταβλητές απόφασης στρατηγικής.

Όταν οι εταιρείες λαμβάνουν την τιμή του προϊόντος ως μεταβλητή απόφασης στρατηγικής, τότε πρέπει να εξετάζουν πως η τιμή θα επηρεάσει την ποσότητα που θα πουλήσουν. Η περίπτωση αυτή καλείται ανταγωνισμός τύπου Cournot. Στην περίπτωση που η δυναμικότητα των τεχνολογιών παραγωγής κάθε εταιρείας δεν περιορίζεται, τότε τα προϊόντα όλων των εταιρειών θα πρέπει να είναι ποιοτικώς παρόμοια. Δεν πρέπει να διαφοροποιούνται παρά σε ελάχιστο βαθμό, και αυτό γιατί στην αντίθετη περίπτωση οι καταναλωτές θα προτιμήσουν να στραφούν σε ανταγωνιστές που προσφέρουν σε χαμηλότερη τιμή.

Προφανώς, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένα τέτοιο αγαθό. Δεν είναι εύκολο να διαφοροποιείται. Ωστόσο οι εταιρείες παραγωγής υπόκεινται σε περιορισμούς της δυναμικότητας των τεχνολογιών παραγωγής τους. Ενδέχεται, λοιπόν, προσφέροντας σε χαμηλή τιμή να μην πετύχουν να εξυπηρετήσουν ολόκληρη τη ζήτηση της αγοράς. Έτσι, επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν τους περιορισμούς της δυναμικότητας τους με σκοπό να αποκτήσουν δύναμη στην αγορά.

Ο ανταγωνισμός τύπου Bertrand χρησιμοποιεί τις ποσότητες των προϊόντων για μεταβλητές απόφασης στρατηγικής. Αντίθετα με τον τύπο του Cournot, απαιτείται η διαφοροποίηση των αγαθών προκειμένου να εξασφαλίσουν δύναμη οι εταιρείες. Μάλιστα, η δύναμη των εταιρειών προέρχεται από την απροθυμία των ανταγωνιστριών εταιρειών να εφοδιάσουν όλους εκείνους τους καταναλωτές που επιθυμούν να στραφούν στα προϊόντα τους. Στο πιο κάτω σχήμα βλέπουμε πως απεικονίζονται οι δύο αυτοί συγκεκριμένοι τύποι ατελούς ανταγωνισμού.



Σχήμα 10 Cournot και Bertrand ατελή ανταγωνισμός

3.5 Μοντέλα Προσομοίωσης

Τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης που συναντάμε στη βιβλιογραφία και αφορούν στο σχεδιασμό ενεργειακών στρατηγικών και στη διαμόρφωση πολιτικών, βασίζονται στη μεθοδολογία που είναι γνωστή ευρέως ως Σύστημα Δυναμικής (Systems Dynamics). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο Σχεδιασμό Στρατηγικών βασιζόμενο σε σενάρια (Scenario-Based Strategic Planning) στη βιομηχανία πετρελαίου, στη βιομηχανία εξοπλισμού των συστημάτων παραγωγής ενέργειας, στο σχεδιασμό της τεχνολογικής ανάπτυξης, στο σχεδιασμό επενδύσεων των επιχειρήσεων σε νέες μορφές παραγωγής, στη μελέτη της ελεύθερης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και στην ανάλυση της διείσδυσης στην αγορά των αυτοκινήτων υδρογόνου στην Ευρώπη και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στις ΗΠΑ. Επίσης, στις ΗΠΑ αναπτύχθηκε η συγκεκριμένη μεθοδολογία για την ολιστική επιβολή στρατηγικών παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Στην μελέτη αυτή, συμπεριελήφθησαν οι γρήγοροι αντιδραστήρες, οι ψυχωμένοι αντιδραστήρες αερίου υψηλών θερμοκρασιών και η τρίτη γενιά αντιδραστήρων ελαφριού νερού. Στην Ελβετία, πρόσφατα η μεθοδολογία αυτή συνέβαλε στην προσπάθεια κατανόησης και στην επίσπευση της διαδικασίας διάχυσης των αποδοτικών ενεργειακά κτιρίων. Η πράξη έδειξε πώς η μεθοδολογία Systems Dynamics είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο και ικανό να υποστηρίξει τη διαδικασία μάθησης.

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, η μεθοδολογία της Δυναμικής υποστηρίζει τη διαδικασία μάθησης. Για αυτό το λόγο, σημαντικό κομμάτι των μοντέλων προσομοίωσης συνιστούν οι καμπύλες μάθησης. Οι καμπύλες μάθησης προσφέρουν μια εκτίμηση των μειώσεων του κόστους και άλλοτε της τιμής ενός αγαθού, εξαρτώμενη εκθετικά από την αθροιστική παραγωγή ή αθροιστικών πωλήσεων του αγαθού. Συνεχίζοντας προκειμένου να εκτιμηθεί το μελλοντικό κόστος παραγωγής, οι

ερευνητές και σχεδιαστές λαμβάνουν υπόψη παραμέτρους που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον και υπάρχει καταγεγραμμένη εικόνα της συμπεριφοράς και εξέλιξης τους.

Επίσης, οι ερευνητές εμπλούτισαν τις καμπύλες μάθησης εκτιμώντας τις μειώσεις κόστους ενός αγαθού συναρτήσει της αθροιστικής επένδυσης για την τεχνολογική ανάπτυξη. Προχώρησαν στην ενέργεια αυτή, προκειμένου να λάβουν υπόψη την επιρροή της τεχνολογικής ανάπτυξης στη διαμόρφωση του κόστους ενός προϊόντος. Για πρώτη φορά η νέα θεώρηση εφαρμόστηκε στη EU HyTRAN αναφορά (Hydrogen and Fuel Cell Technologies for Road Transport.

Άλλα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν, αντικατέστησαν τις κλασικές καμπύλες μάθησης με καμπύλες με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας. Για παράδειγμα, μοντέλα που σχετίζονταν με την παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο. Τα μοντέλα αυτά χαρακτηρίστηκαν πιο ρεαλιστικά και φανερώνουν την αναμενόμενη εξέλιξη γνωρισμάτων όπως αποδοτικότητα, διαθεσιμότητα, κόστος κεφαλαίου και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν γίνεται μια νέα επένδυση, το αποτέλεσμα αυτής εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη τη συσσωρευμένη επένδυση. Γενική αρχή των καμπυλών μάθησης είναι πως όσο περισσότερη προσπάθεια καταβάλλεται για τεχνολογική ανάπτυξη, τόσο μικρότερες μειώσεις του κόστους αναμένονται ως αποτέλεσμα κάθε νέας μονάδας επένδυσης.

Επιπρόσθετα, τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να διακριθούν σε μοντέλα τέλειου και ατελούς ανταγωνισμού όπως ακριβώς περιγράφηκε για τα μοντέλα βελτιστοποίησης. Είναι σημαντικό ότι διατηρούνται τα χαρακτηριστικά που προαναφέραμε. Η μοναδική διαφορά μεταξύ ενός μοντέλου βελτιστοποίησης τέλειου ανταγωνισμού από αυτό της προσομοίωσης είναι η βασική ειδοποιός διαφορά τους. Δηλαδή ότι τα μοντέλα προσομοίωσης βασίζονται στην αρχή της συμπληρωματικότητας, ενώ τα άλλα στην αρχή της βελτιστοποίησης και της γραμμικότητας όπως φανερώνει και το όνομα τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.1 Εισαγωγικά

Το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία προσομοιώνει μια τοπική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που ανταγωνίζονται έξι τεχνολογίες παραγωγής και ειδικότερα οι: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Renewables), Λιγνίτης (Lignite), Άνθρακας (Coal) και Φυσικό αέριο (Natural Gas).

Το μοντέλο μας ανήκει στη κατηγορία των μοντέλων βελτιστοποίησης και πρόκειται για ένα γραμμικό μοντέλο μια πλήρους ανταγωνιστικής αγοράς. Και στις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του μοντέλου που θα εξετάσουμε, θεωρούμε τέλεια ανταγωνιστική αγορά. Η υπόθεση των ανταγωνιστικών αγορών ουσιαστικά σημαίνει ότι η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με το οριακό κόστος παραγωγής της. Σε γενικές γραμμές σε μια πλήρως ανταγωνιστική αγορά δεν υπάρχουν εμπόδια εισόδου των νέων επιχειρήσεων στην αγορά.

Ακόμη, αποφασίσαμε να εξερευνηθούν και οι δυο μορφές ζήτησης, δηλαδή η περίπτωση ελαστικής και ανελαστικής ζήτησης. Ειδικότερα, για την περίπτωση της ελαστικής ζήτησης αναγκαστήκαμε να προχωρήσουμε σε διαδικασία γραμμικοποίησης της. Ειδάλλως, το πρόβλημα μας δεν θα παρέμενε γραμμικό.

Επίσης, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι τέτοια που να επιτρέπει ταυτόχρονα και την πλήρη κάλυψή της από την υπάρχουσα αθροιστική δυναμικότητα αλλά και τη λειτουργία όλων των τεχνολογιών.

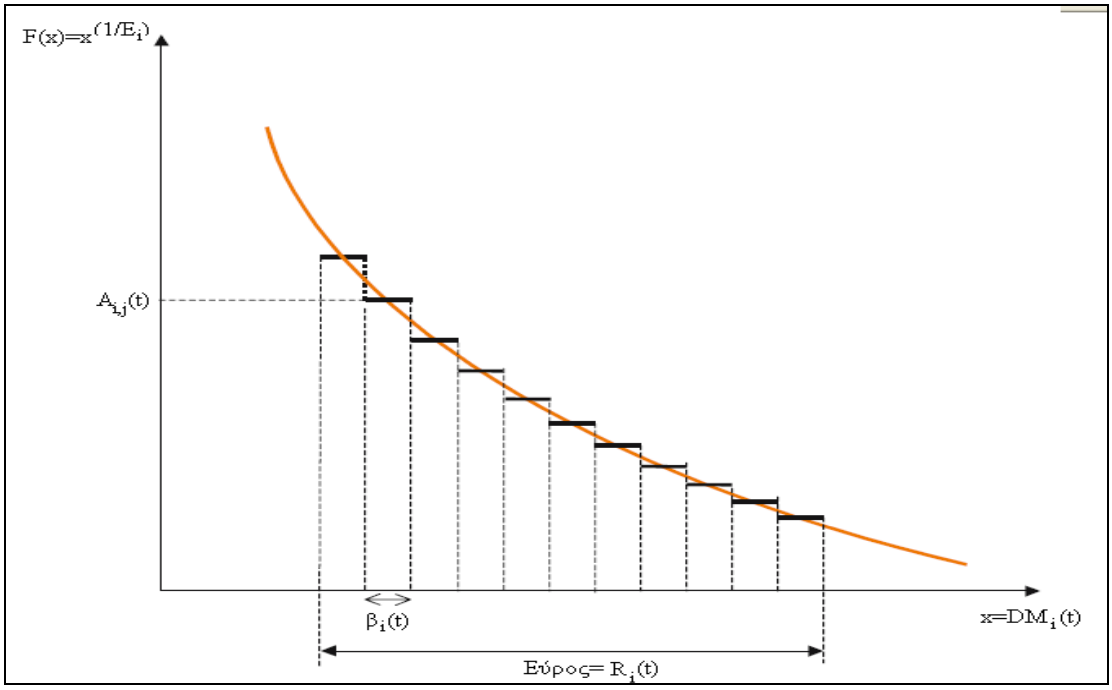
Τέλος, για κάθε τεχνολογία ορίζεται ένα μέγιστο όριο επιτρεπόμενων εκπομπών CO2. Η υπέρβαση αυτού του ορίου μπορεί να γίνει μόνο με την αγορά δικαιωμάτων (permits), η τιμή των οποίων δεν μπορεί να επηρεαστεί από αποφάσεις και ενέργειες όσων συμμετέχουν στην υπό μελέτη αγορά.

4.2 Η Διαδικασία γραμμικοποίησης της ελαστικής ζήτησης

Η περίπτωση της ελαστικής ζήτησης ενός αγαθού περιγράφεται από μια σχέση της παρακάτω μορφής $Q(p) = K * p^{E}$, όπου $p =$ *η τιμή του αγαθού,* $E < 0 =$ *η ελαστικότητα της ζήτησης και* $K =$ *η ονομαστική ζήτηση του αγαθού.*

Η προσέγγιση του μοντέλου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που επιλέξαμε, εξετάζει την περίπτωση της γραμμικής αντικειμενικής συνάρτησης κόστους. Για αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η γραμμικοποίηση της ελαστικής ζήτησης της

ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας βηματικές μεταβλητές για να προσεγγίσουμε την τιμή της ζήτησης, όπως φανερώνει το παρακάτω σχήμα.



Ειδικότερα, επιλέγεται το εύρος R μέσα στο οποίο θα γίνει η προσέγγιση της τιμής της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το εύρος μπορεί να κυμαίνεται ανάλογα με το διάστημα που επιλέγουμε να εξετάσουμε. Για παράδειγμα, το εύρος μπορεί να είναι ίσο με την τιμή της ζήτησης αναφοράς συν/πλην 50%. Η μικρότερη τιμή του εύρους (δηλαδή $0{,}5 * Q^{ref}$) είναι η $Q_{\min}$ και η μεγαλύτερη τιμή του εύρους (δηλαδή $1{,}5 * Q^{ref}$) είναι η $Q_{\max}$. Όπως ειπώθηκε, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή του εύρους ποικίλλουν.

Εφόσον γίνει η επιλογή του εύρους και του αριθμού των βηματικών μεταβλητών n, τότε υπολογίζεται το πλάτος του πλέγματος που δίνεται από τη σχέση $b = \frac{R}{n}$. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι, $n/2$ στον αριθμό, u_s βηματικές μεταβλητές που αντιστοιχούν σε αυξήσεις της ζήτησης άνω της ονομαστικής τιμής της. Επίσης, $n/2$ στον αριθμό, d_r βηματικές μεταβλητές που αντιστοιχούν σε μειώσεις της ζήτησης. Οι βηματικές μεταβλητές πρέπει να είναι μη μηδενικές και ταυτόχρονα μικρότερες του πλάτους του πλέγματος. Δηλαδή, $0 \le u_s \le b$ και $0 \le d_r \le b$.

Κατόπιν, της διαδικασίας αυτής η ζήτηση γράφεται ως:

$$Q ή \sum_{te} q_{te} = Q^{ref} + \sum_{s} u_s - \sum_{r} d_r$$

και η αντικειμενική συνάρτηση γίνεται ως ακολούθως:

$$\left\{\sum_{te}\left(OC_{te,o}\cdot q_{te}+PP*per_{te}\right)+\sum_{s}a_s\cdot u_s-\sum_{r}\beta_r\cdot d_r+\sum_{r}d_r\cdot A_r-\sum_{s}u_s\cdot A_s\right\}.$$

Οι μεταβλητές A_s, A_r είναι τα επίπεδα τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχούν σε r (προς τα κάτω) ή s (προς τα πάνω) βήματα απόκλισης της ζήτησης από την ονομαστική Q^{ref}. Οι τιμές εύκολα μπορούν να υπολογιστούν επιλύοντας προς το ζητούμενο της τιμής τη σχέση $Q(p)=K*p^{E}$. Πιο συγκεκριμένα, με δεδομένη την τιμή της ελαστικότητας, την ονομαστική τιμή ζήτησης και την νέα τιμή της ζήτησης μετά μεταβολής της, υπολογίζουμε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακόμη, ορίζονται οι dummy μεταβλητές a_s και β_r που πρέπει να πληρούν τους εξής περιορισμούς: $\beta_{r+1}>\beta_r$ και $\beta_1>a_1$ και $a_s<a_{s+1}$.

Καταλήγοντας, διαπιστώνουμε ότι το μοντέλο της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζει τις τιμές των βηματικών μεταβλητών όπως και τα επίπεδα παραγωγής από την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης.

4.3 Καταγραφή των φάσεων ανάπτυξης του μοντέλου μας

Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο μας θα εξεταστεί σε τέσσερις φάσεις. Σε κάθε φάση θεωρείται συνολικό χρόνος λειτουργίας όλων των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας h_{op} ίσος με 14.000 ώρες. Ακόμη, οι τρείς πρώτες φάσεις αφορούν σε μια χρονική περίοδο $(t=0)$, ενώ η τελευταία φάση αναφέρεται σε χρονικό ορίζοντα 10 ετών με περίοδο μοντελοποίησης το ένα έτος.

Για τις έξι διαφορετικές τεχνολογίες πάρθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία του πίνακα που αφορούν τις υπάρχουσες δυναμικότητες αλλά και τα διάφορα κόστη τους.

		Renewables	**Lignite**	**Coal**	**Natural Gas**
te	**μονάδες**	**Rn**	**Lig**	**c**	**ng**
$cap_{te,o}$	MW	100	350	300	150
$OC_{te,o}$	€/MWh	2	12	16	23
$E_{te,o}$	tCO2/MWh	0	1	0,8	0,35

- $cap_{te,0}$ είναι η υπάρχουσα δυναμικότητα την χρονική περίοδο $t = 0$
- $E_{te,0}$ είναι οι εκπομπές της τεχνολογίας te κατά την χρονική περίοδο $t = 0$
- $OC_{te,0}$ είναι το μεταβλητό κόστος της τεχνολογίας te κατά την χρονική περίοδο $t = 0$

4.3.1 Ονομαστικό (reference) σενάριο

Στο ονομαστικό σενάριο θεωρούμε τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας σταθερή και ίση με Q^{ref} . Το γραμμικό πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του κόστους των έξι παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας διατυπώνεται ως ακολούθως:

$$\min_{te} \sum_{te} (OC_{te,0} * q_{te})$$

και με περιορισμούς τους :

- $q_{te} \le h_{op} * cap_{te}, \forall te$
- $q_{te} \ge 0, \forall te$
- $\sum_{te} q_{te} = Q^{ref}$

Διευκρινίζουμε ότι είναι απαραίτητος ο πολλαπλασιασμός με τις ώρες λειτουργίας h_{op} για να εκφράσουμε τη δυναμικότητα της κάθε τεχνολογίας σε MW.

Από την επίλυση του παραπάνω προβλήματος θα προκύψουν τα q_{te}^{ref} και αυτά θα χρησιμοποιηθούν ώστε να κατασκευάσουμε το merit order των έξι υφιστάμενων τεχνολογιών για την ονομαστική περίπτωση.

4.3.2 Μοντέλο με περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 και εμπορία δικαιωμάτων (Emissions Cap and Trade)

Τώρα, στην αγορά επιτρέπεται η εμπορία των δικαιωμάτων εκπομπών CO_2. Μια ρυπογόνα επιχείρηση που το οριακό κόστος για να μειώσει τις εκπομπές της είναι εξαιρετικά υψηλό, θα προτιμήσει τη συμφέρουσα λύση να αγοράσει επιπλέον δικαιώματα από επιχειρήσεις που διατηρούν χαμηλό κόστος μειώσεων. Όταν μια

τέτοια ανταλλαγή δικαιωμάτων λαμβάνει χώρα, οι πωλητές αυτών υποχρεώνονται να μειώσουν τις εκπομπές στο βαθμό που οι αγοραστές τις αυξάνουν. Ακόμη, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος των αγοραστών των δικαιωμάτων μειώνεται εντονότερα από ότι αυξάνεται το συνολικό κόστος των πωλητών. Φυσικό επακόλουθο μιας τέτοιας εμπορικής συναλλαγής είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού αθροιστικού κόστους των συμμετεχόντων. Έχει αποδειχτεί ότι ο περιορισμός των εκπομπών με ταυτόχρονη εμπορία των δικαιωμάτων συντελεί στην εύρεση των πιο συμφερουσών λύσεων για τη μείωση των εκπομπών του CO_2.

Περίπτωση ελαστικής ζήτησης

Η ελαστική ζήτηση περιγράφεται από την σχέση $Q(p) = K * p^E$ και καθορίζεται εξωγενών από το χρήστη μέσω της ελαστικότητας. Το E αντιπροσωπεύει την ελαστικότητα της και διευκρινίζεται ότι λαμβάνει πάντα αρνητικές τιμές. Το K εκφράζει ποσότητα ενέργειας και θα προκύψει με αντικατάσταση του σημείου (p^{ref}, Q^{ref}) του ονομαστικού σεναρίου στην παραπάνω σχέση. Ακόμη, η τιμή λαμβάνεται από την ισότητα $p^{ref} = \sum_{te}(OC_{te,0} * q_{te}^{ref}) / \sum_{te} q_{te}^{ref}$. Με τον τύπο αυτό εκφράσαμε την τιμή της μιας μονάδας παραγωγής ή αλλιώς τη μοναδιαία αξία της παραγωγής.

Τα νέα επίπεδα παραγωγής και κατά επέκταση η κατασκευή του νέου merit order προκύπτουν από την επίλυση του γενικού γραμμικού προβλήματος:

min { “total cost of producing Q”-“total benefit of consuming Q” }.

Το συνολικό κόστος παραγωγής εύκολα υπολογίζεται από το γνωστό τύπο $\sum_{te}(OC_{te,0} * q_{te}^{ref} + PP * per_{te})$, ενώ το συνολικό όφελος της κατανάλωσης της ποσότητας αυτής υπολογίζεται από ολοκλήρωμα $\int_0^{Q(p)} p(v)dv$. Η μεταβλητή PP δηλώνει την τιμή αγοράς ενός permit (€/tCO2) και ο όρος $\sum_{te} PP * per_{te}$ το επιπλέον κόστος των παραγωγών λόγω της εφαρμογής του σχεδίου, δηλαδή το κόστος εκπομπών του CO_2.

Με δεδομένο ότι η σχέση $Q(p) = K * p^E$ είναι μη γραμμική, πρέπει να ακολουθηθούν με τη σειρά τα βήματα της διαδικασίας γραμμικοποίησης που περιγράφτηκαν πιο πάνω.

Μετέπειτα της διαδικασίας αυτής, ο όρος $\int_0^{Q(p)} p(v)dv$ της αντικειμενικής συνάρτησης θα γίνει: $\int_0^{Q(p)} p(v)dv + \sum_s u_s * A_s - \sum_r d_r * A_r$. Το ολοκλήρωμα αποτελεί το σταθερό όρο της αντικειμενικής συνάρτησης και ισούται με τη διαφορά $\sum_s u_s * a_s - \sum_r d_r * \beta_r$, ενώ το δεύτερο σκέλος της είναι μεταβλητός όρος και αντικείμενο βελτιστοποίησης.

Κατόπιν τούτων, το γραμμικό πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

$$\min\{\sum_{te}(OC_{te,0} * q_{te} + PP * per_{te}) + \sum_s u_s * a_s - \sum_r d_r * \beta_r + \sum_r d_r * A_r - \sum_s u_s * A_s\}$$

με τους ανάλογους περιορισμούς:

- $q_{te} \le h_{op} * cap_{te}, \forall te$
- $\sum_{te} q_{te} = Q^{ref} + \sum_s u_s - \sum_r d_r$
- $q_{te} \ge 0, \forall te$
- $E_{te} * q_{te} \le CO2_cap_{te} + per_{te}, \forall te$
- $CO2_cap_{te} = \frac{E_{te} * q_{te}^{ref}}{\sum_{te} E_{te} * q_{te}^{ref}} * CO_cap, \forall te$
- $per_{te} \ge 0, \forall te$
- $0 \le u_s \le b$
- $0 \le d_r \le b$
- $\beta_{r+1} > \beta_r$
- $a_s < a_{s+1}$
- $\beta_1 > a_1$

Σημειώνεται ότι το shadow price του per_{te} είναι ίσο με την αξία που έχει ένα permit για την τεχνολογία te στην υπό μελέτη τοπική αγορά δηλαδή είναι ίσο με PV_{te}. Με άλλα λόγια ισχύει πάντα είτε $E_{te} * q_{te} = CO2_cap_{te} + per_{te}$ είτε $PV_{te} = 0$.

Επισημαίνουμε ότι το shadow price για το οποίο κάνουμε λόγο εκφράζει την αλλαγή που θα υποστεί η αντικειμενική αξία της βέλτιστης λύσης ενός πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπως το δικό μας, που οφείλεται στη χαλάρωση του περιορισμού του ανώτατού ορίου εκπομπών κατά μία μονάδα. Πιο θεωρητικά, η σκιώδης τιμή είναι η τιμή του Lagrange πολλαπλασιαστή κατά τη βέλτιστη λύση του προβλήματος. Φανερώνει δηλαδή την απειροελάχιστη μεταβολή στο στόχο του προβλήματος που απορρέει από μία απειροελάχιστη μεταβολή στον περιορισμό. Προκύπτει από το γεγονός ότι κατά τη βέλτιστη λύση, η απόκλιση του στόχου του προβλήματος είναι ένα γραμμικός συνδυασμός της απόκλισης του περιορισμού με βάρος ίσο με τον πολλαπλασιαστής Lagrange. Κάθε περιορισμός σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης έχει μια σκιώδης τιμή.

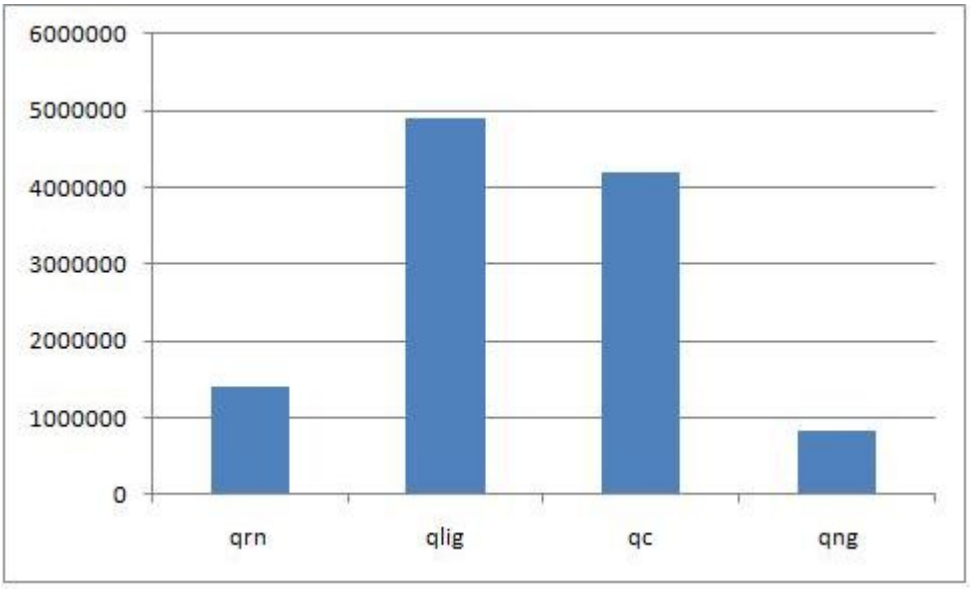
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο}

ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΓΟΡΑΣ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί δημιουργήσαμε κάποιες υποθετικές συνθήκες της αγοράς ενέργειας και τα εν λόγω σενάρια τα εφαρμόσαμε στο μοντέλο που κατασκευάσαμε. Στόχος μας ήταν να διερευνήσουμε τις σχέσεις από τις οποίες εξαρτάται τόσο το κόστος εφαρμογής του σχεδίου με δυνατότητα εμπορίας όσο και η κατανομή του κόστους αυτού στα μέρη της αγοράς.

1. Ονομαστικό σενάριο (Reference scenario)

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απαρτίζεται από τέσσερις τεχνολογίες παραγωγής, των ανανεώσιμων πηγών, του λιγνίτη, του φυσικού αερίου και του άνθρακα. Η ζήτηση για το σενάριο αυτό είναι ανελαστική και επιλέξαμε να πλησιάζει τη συνολική δυναμικότητα παραγωγής των τεσσάρων τεχνολογιών. Ειδικότερα η ζήτηση αγγίζει το 90% της συνολικής δυναμικότητας τους. Οπότε, το merit order των τεσσάρων τεχνολογιών για μια ανελαστική ζήτηση ύψους 11340000 MWh πριν την εφαρμογή του σχεδίου εκπομπών EU ETS παρουσιάζει την παρακάτω μορφή του σχήματος που ακολουθεί. Ακόμη, το κόστος παραγωγής της ποσότητας αυτής ανέρχεται σε 148120000 ευρώ. Οι εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα CO_2 φτάνουν τους 8554000 τόνους. Επίσης, βλέπουμε πως οριακός παραγωγός της περίπτωσης αυτής είναι ο παραγωγός φυσικού αερίου. Επιπρόσθετα, η τιμή πώλησης θα κυμαίνεται στα 13,06 ευρώ/MWh. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο. Υπό τις δεδομένες συνθήκες της αγοράς και στα πλαίσια της ικανοποίησης του αγοραστικού κοινού, σημαντικό ρόλο έχει ο φτηνότερος παραγωγός ή ο ανταγωνιστικότερος από τους ρυπογόνους που συνεισφέρει την μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας στην αγορά. Στην περίπτωση μας ανταγωνιστικοί είναι ο παραγωγός ανανεώσιμων πηγών που έχει όμως περιορισμένη δυνατότητα παραγωγής και ο παραγωγός λιγνίτη.



Σχήμα 1 – Η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας του ονομαστικού σεναρίου

2. Εφαρμογή σχεδίου περιορισμού των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 και εμπορία δικαιωμάτων εκπομπής

Υποθέτουμε ότι το σχέδιο μείωσης των εκπομπών προβλέπει μια μείωση της τάξης του 5% των συνολικών εκπομπών CO_2 του ονομαστικού σεναρίου. Το ποσοστό αυτό μείωσης επιλέχτηκε τέτοιο ώστε να μην μειωθεί σε μεγάλο βαθμό η προσφορά τους σε ενέργεια. Επίσης, η ελαστικότητα ζήτησης ορίζεται να ισούται με -0,01. Είναι μια μικρή ελαστικότητα που σημαίνει ότι οι καταναλωτές δεν είναι τόσο ευαισθητοποιημένοι και δεν αντιδρούν έντονα στις μεταβολές της προσφερόμενης ενέργειας. Ειδικότερα, η ελαστικότητα ζήτησης μετράει τον τρόπο με τον οποίο η ζητούμενη ποσότητα αντιδρά όταν η τιμή του αγαθού ή της υπηρεσίας μεταβάλλεται (αυξάνει ή μειώνεται). Με άλλα λόγια μετράει τον βαθμό ευαισθησίας της ζητούμενης ποσότητας στις μεταβολές της τιμής ενός αγαθού ή υπηρεσίας. Για να αποφύγουμε το πρόβλημα με τις μονάδες μέτρησης, η ελαστικότητα ζήτησης εκφράζεται σε εκατοστιαία βάση.

2.1 Διερεύνηση των παραγόντων εξάρτησης του κόστους που επιφέρει σε μία τοπική αγορά ενέργειας η εφαρμογή σε ευρωπαϊκό επίπεδο της πολιτικής εμπορίας εκπομπών ρύπων (cap-and-trade)

Από την εμπειρία έχει φανεί ότι οι τιμές των δικαιωμάτων μεταβάλλονται από 5 έως 20 ευρώ/τόνοCO_2 , για αυτό το λόγο περιορίσαμε στα πλαίσια αυτά τις πιθανές τιμές των δικαιωμάτων εκπομπής. Επίσης, η απώλεια πλούτου που υπολογίζουμε είναι συγκριτική με το ονομαστικό σενάριο και υπολογίζεται από τον εξής τύπο $\sum_{te}(OC_{te} * q_{te} + PP * per_{te}) - \sum_{te}(OC_{te} * q_{te}^{ref}) - \sum_{s} A_s * u_s + \sum_{r} A_r * d_r$

Στον πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώσαμε τα στοιχεία που προέκυψαν από τις μεταβολές της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής.

PP (€/tCO_2)	*Welfare loss* (€)	*Perrn* (tCO_2)	*Perlig* (tCO_2)	*Perc* (tCO_2)	*Perng* (tCO_2)
5	2127522	0	245000	168000	14369,25
10	4264368	0	245000	168000	14369,25
15	6401214	0	245000	168000	14369,25
17	7107203	0	0	0	173619,25
18	7280822	0	0	0	173619,25
20	7628061	0	0	0	173619,25

Πίνακας 1 - Μεταβολές του δείκτη απώλειας και του αριθμού των δικαιωμάτων εκπομπών

Σχήμα 2 – Μεταβολές του δείκτη απώλειας πλούτου στην αύξηση της τιμής PP

Μια συνέπεια της εφαρμογής της συγκεκριμένης πολιτικής είναι η μείωση της προσφερόμενης ποσότητας. Βέβαια, επιτρέποντας στους παραγωγούς να αγοράζουν δικαιώματα αποφεύγεται η μεγαλύτερη μείωση. Ωστόσο, η ίδια ποσότητα ενέργειας με το ονομαστικό σενάριο είναι δύσκολο να παραχθεί γιατί οι παραγωγοί λειτουργούν με γνώμονα το κέρδος τους. Για αυτό το λόγο δεν μπορούν να αγοράσουν όλα αυτά τα δικαιώματα που απαιτούνται ώστε να προσφέρουν ίδια ποσότητα με αυτή του

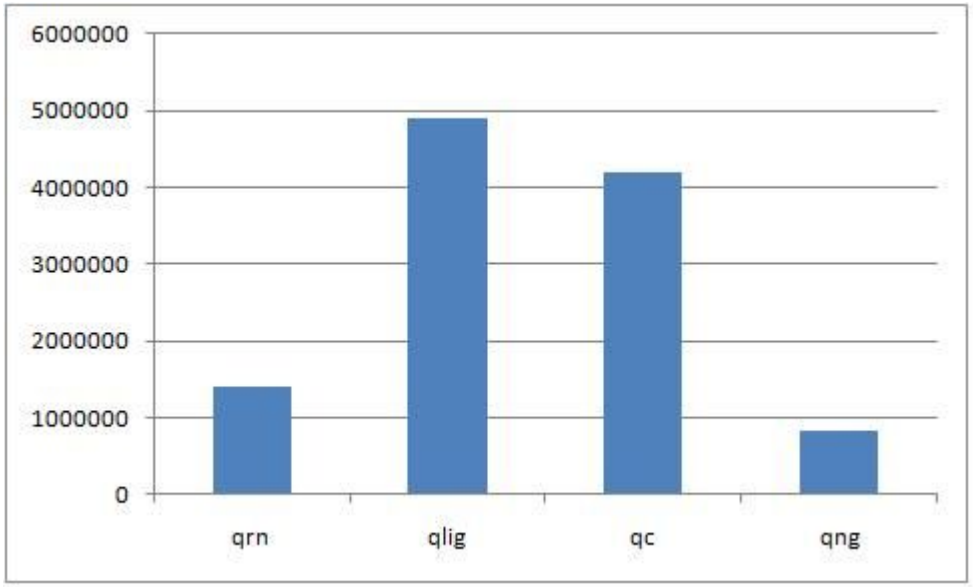
ονομαστικού σεναρίου. Η λογική με την οποία λειτουργούν ορίζει ότι προσπαθούν να επωφεληθούν περισσότερο ή αντίστοιχα να ζημιωθούν λιγότερο.

Όπως βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα η επιβολή μιας πολιτικής μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με ταυτόχρονη δυνατότητα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής επηρεάζει το δείκτη πλούτου της τοπικής αγοράς. Η τοπική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει απώλειες πλούτου. Θυμόμαστε ότι ο δείκτης πλούτου ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του οφέλους των καταναλωτών και του κόστους παραγωγής των καταναλωτών. Οι απώλειες αυτές επηρεάζονται από την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Ειδικότερα, ο δείκτης πλούτου της αγοράς μειώνεται κάθε φορά που η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής αυξάνεται. Η επίπτωση αυτή ερμηνεύεται εύκολα. Από τη μια, οι παραγωγοί ενέργειας αναγκάζονται να αγοράσουν δικαιώματα προκειμένου να μην μειώσουν τα επίπεδα παραγωγής τους και να μπορούν να προσφέρουν στους καταναλωτές στον ίδιο βαθμό με πριν την εφαρμογή του σχεδίου. Οπότε, το συνολικό κόστος παραγωγής τους είναι αυξανόμενο. Ωστόσο, παρατηρώ ότι παρά τα δικαιώματα που αγοράζουν δεν μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν το ίδιο με πριν την εφαρμογή του σχεδίου. Αυτό είναι πολύ λογικό μιας και το κόστος πια της παραγωγής τους επιβαρύνεται με το κόστος της αγοράς των δικαιωμάτων ή αλλιώς το κόστος εκπομπών όπως ονομάζεται. Και από την άλλα οι καταναλωτές επιβαρύνονται με αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, το όφελος τους υφίσταται μείωση.

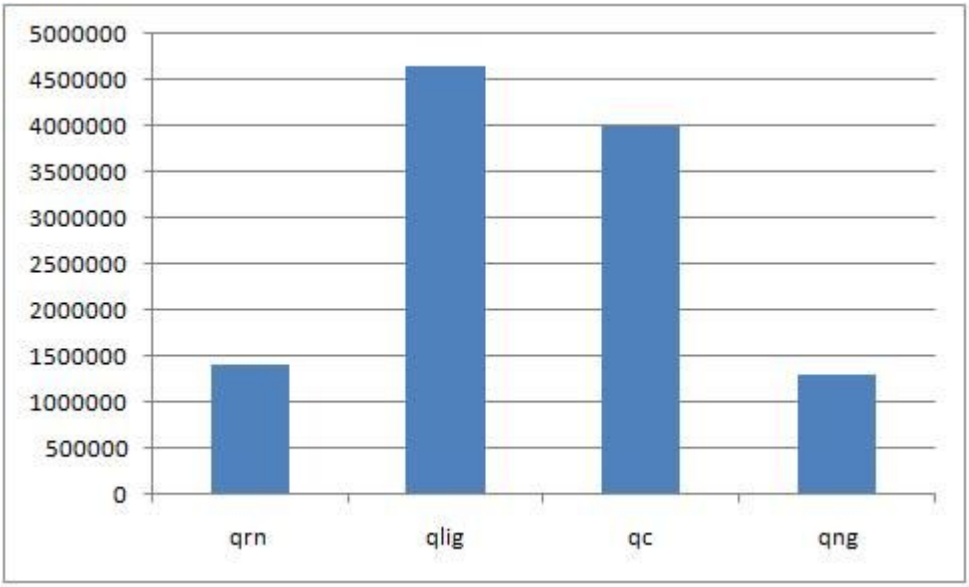
Εκτός από την απώλεια πλούτου που βιώνει η αγορά και η οποία αυξάνεται με τις αυξητικές μεταβολές της τιμής ενός δικαιώματος εκπομπής, το συνολικό κόστος της παραγωγής βλέπουμε να μεταβάλλεται ανοδικά με την τιμή του δικαιώματος. Για τις χαμηλότερες τιμές αυτών, δηλαδή 5 έως 15 ευρώ/τόνοCO_2, η αύξηση αυτή του κόστους οφείλεται κυρίως στον παραγωγό λιγνίτη. Προκειμένου αυτός να προσφέρει στην αγορά τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας αγοράζει αρκετά δικαιώματα. Για μεγαλύτερες τιμές δικαιωμάτων όμως, βλέπουμε ότι μόνο ο παραγωγός φυσικού αερίου αγοράζει δικαιώματα. Οι υπόλοιποι δύο προτίμησαν να περιοριστούν στις επιτρεπόμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που τους ορίστηκαν. Δεν έχουν όφελος να αγοράσουν δικαιώματα για να παράγουν. Έτσι, ο παραγωγός φυσικού αερίου αντιμετωπίζει αυξημένο κόστος εκπομπών γιατί αυξάνει την παραγόμενη ποσότητα του. Οι δύο αυτοί παράγοντες οδηγούν σε αύξηση του κόστους παραγωγής του και συνεπώς του συνολικού κόστους των παραγωγών. Όταν ο ακριβός παραγωγός προχωρήσει σε αύξηση της παραγόμενης ποσότητας του, τότε η αξία της ενέργειας που προσφέρεται στην αγορά ακριβαίνει.

Παρατηρώντας την κατανομή της παραγόμενης ποσότητας ενέργειας μεταξύ των παραγωγών (σχήμα 3 και 4)όπως αυτή μεταβάλλεται με τις αυξήσεις της τιμής των δικαιωμάτων βλέπουμε τους παραγωγούς να εξακολουθούν να προσφέρουν τις ίδιες ποσότητες ενέργειας. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι με κάθε αύξηση της τιμής των δικαιωμάτων οι παραγωγοί έχουν πρόσθετο κόστος παραγωγής. Πληρώνουν

περισσότερο δηλαδή. Η εικόνα αυτή διατηρείται μέχρι την τιμή των 15 ευρώ/τόνοCO_2 (Σχήμα 3). Για μεγαλύτερες τιμές δικαιωμάτων εκπομπής, βλέπουμε τους παραγωγούς να επηρεάζονται (Σχήμα 4). Αυτή τη φορά, βλέπουμε ότι ο λιγνιτο-παραγωγός και ανθρακο-παραγωγός επιλέγουν να μειώσουν της προσφερόμενη ενέργειας και άρα έχουν μειωμένο κόστος παραγωγής. Σημαντικό είναι ακόμη επίσης ότι δεν επιβαρύνονται με κόστος εκπομπών. Αντίθετα, ο παραγωγός φυσικού αερίου επιβαρύνεται με αυξημένο κόστος εκπομπών και αυτό συνεπάγεται ότι παράγει υψηλότερη ποσότητα ενέργειας. Πράγμα που είναι αναμενόμενο. Όταν το κόστος συμμόρφωσης με το σχέδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα γίνεται ιδιαίτερα υψηλό, τότε αυξάνεται η παραγωγή της τεχνολογίας χαμηλών εκπομπών που χαρακτηρίζονται από αυξημένο κόστος παραγωγής.



Σχήμα 3 - Η εικόνα της κατανομής της παραγόμενης ενέργειας για χαμηλές τιμές δικαιωμάτων εκπομπής με διευκρίνιση του κόστους εκπομπών CO_2



Σχήμα 4 - Η εικόνα της κατανομής της παραγόμενης ενέργειας για υψηλότερες τιμές δικαιωμάτων εκπομπής με διευκρίνιση του κόστους εκπομπών CO_2

Επομένως, παρατηρώ και από τα παραπάνω σχήματα ότι ο οριακός παραγωγός και ο ανταγωνιστικότερος παραγωγός δεν αλλάζει. Δεν υπάρχει αναδιάταξη της σειράς των παραγωγών. Μάλιστα, για τον ανταγωνιστικό παραγωγό θα λέγαμε ότι δεν θα ήταν δυνατό να αλλάξει γιατί οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής μιας μονάδας ενέργειας και παράλληλα δεν ρυπαίνουν.

Για αυτό, οι καταναλωτές χρεώνονται με υψηλότερη τιμή από ότι στο ονομαστικό σενάριο. Ωστόσο, οι καταναλωτές δεν επιβαρύνονται με εξ ολοκλήρου. Αυτό γιατί ο αριθμός των βημάτων της διαδικασίας της γραμμικοποίησης της ζήτησης δεν μπορεί να εντοπίσει μεγαλύτερες μειώσεις της προσφερόμενης ποσότητας. Αν επιτρέπονταν, τότε η τιμή της ενέργειας των καταναλωτών θα βλέπαμε να αυξάνεται. Έτσι, βλέπουμε τις απώλειες πλούτου των παραγωγών να αυξάνονται με τις αυξήσεις της αξίας των δικαιωμάτων. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευτεί από την πλευρά των παραγωγών ως συνεισφορά τους στο κόστος εφαρμογής τους σχεδίου. Μερικώς, δηλαδή, χρεώνονται με το κόστος του σχεδίου. Αλλά η επιβάρυνση τους αυτή να αυξάνεται διαρκώς.

	PP (€/tCO_2)	q_{rn} *MWh*	q_{lig} *MWh*	q_c *MWh*	q_{ng} *MWh*
	5	1400000	4900000	4200000	839055
	10	1400000	4900000	4200000	839055
	15	1400000	4900000	4200000	839055
	17	1400000	4655000	3990000	1294055
	18	1400000	4655000	3990000	1294055
	20	1400000	4655000	3990000	1294055
Ονομαστικό σενάριο	-	1400000	4900000	4200000	840000

Πίνακας 2 - Η διάταξη της παραγωγής ανά τεχνολογία

2.2 Διερεύνηση των παραγόντων κατανομής του κόστους που επιφέρει σε μία τοπική αγορά ενέργειας η εφαρμογή σε ευρωπαϊκό επίπεδο της πολιτικής εμπορίας εκπομπών ρύπων (cap-and-trade) ανάμεσα σε παράγωγους και καταναλωτές

Η κατανομή του κόστους της πολιτικής εμπορίας εκπομπών ρύπων ανάμεσα σε παραγωγούς και προμηθευτές ενέργειας εξαρτάται από το βαθμό αλλαγής του merit order μεταξύ των τεχνολογιών. Κύριο εργαλείο για την αλλαγή του merit order αποτελεί ο κατάλληλος προσδιορισμός του ορίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για καθεμιά τεχνολογία, δηλαδή το $CO2_cap_{te}$. Για αυτό το σκοπό το όριο εκπομπών των τεχνολογιών δεν ορίζεται από τον τύπο

$$CO2_cap_{te} = (E_{te} * q_{te}^{ref} / \sum_{te} E_{te} * q_{te}^{ref}) * CO_cap$$

αλλά $CO2_cap_{te} = \lambda_{te} * CO_cap$ με $0 \le \lambda_{te} \le 1$ και $\sum_{te} \lambda_{te} = 1, \forall te$

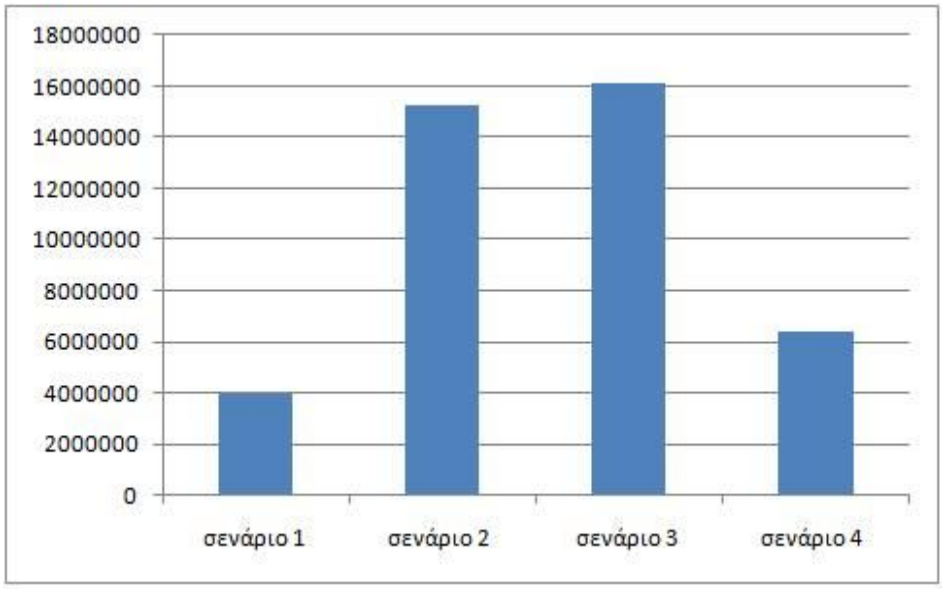
Έτσι, κατασκευάσαμε τέσσερα διαφορετικά σενάρια ορίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επιλέγοντας διάφορες τιμές για τις σταθερές λ_{te} φτιάξαμε αυτά τα σενάρια. Το πρώτο σενάριο «θέλει» τους παραγωγούς να περιορίζονται σύμφωνα με τις εκπομπές τους στο ονομαστικό σενάριο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μια δίκαιη κατανομή των εκπομπών σε όλους με τα ίδια κριτήρια. Στο δεύτερο σενάριο υποθέτουμε ότι ευνοούνται οι δύο φιλικότερες τεχνολογίες αλλά

σημειώνουμε ότι ευνοούνται στον ίδιο βαθμό. Δηλαδή, περιορίζεται το όριο εκπομπών του λιγνιτο-παραγωγού και μοιράζεται εξίσου στους δύο φιλικούς παραγωγούς. Στην συνέχεια, στο τρίτο σενάριο εξετάζουμε την περίπτωση εύνοιας του φιλικότερου παραγωγού (παραγωγό φυσικού αερίου) εις βάρος πάλι του ρυπογόνου παραγωγού λιγνίτη. Και στο τέταρτο και τελευταίο υπό εξέταση σενάριο υποθέτουμε ότι ευνοείται ο ρυπογόνος παραγωγός λιγνίτη έναντι των δύο φιλικότερων.

Προσθέτουμε στο σημείο αυτό ότι θεωρούμε σταθερή την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής. Έτσι, το μοντέλο μας για τα παραπάνω σενάρια που σχολιάστηκαν δίνει τα κάτωθι συμπεράσματα.

Σενάρια	*PP* *(€/tCO_2)*	*λrn*	*λlig*	*λc*	*λng*	***Welfare loss (€)***
1- Δίκαιη κατανομή	5	0	0,5723	0,3926	0,0351	**3955939**
2-πριμοδότηση των φιλικότερων	5	0	0,2723	0,5426	0,1851	**15255135**
3-πριμοδότηση του ένα φιλικότερου	5	0	0,2723	0,3926	0,3351	**16103209**
4-πριμοδότηση του ρυπογόνου	5	0	0,6124	0,3876	0	**6307245**

Πίνακας 3 - Μεταβολές του δείκτη απώλειας

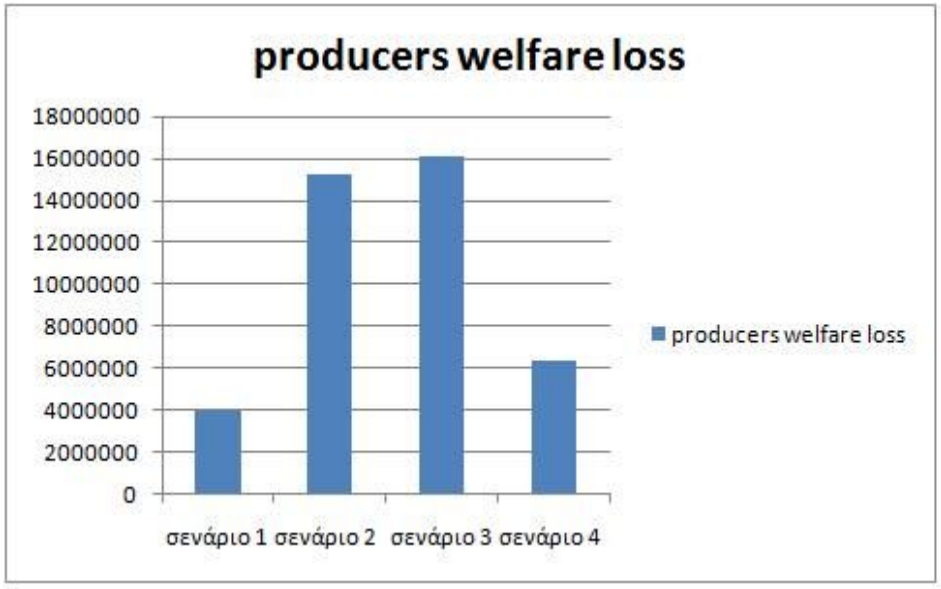


Σχήμα 5 - Μεταβολές του δείκτη απώλειες

Παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα 3 και σχήμα 5 ότι η πριμοδότηση των φιλικότερων τεχνολογιών παραγωγής με ανώτερα επιτρεπτά όρια εκπομπής υποχρεώνει τους ρυπογόνους να αγοράζουν δικαιώματα προκειμένου να εξασφαλιστεί η προσφερόμενη ποσότητα ενέργειας. Όσοι περισσότεροι παραγωγοί χαίρουν αυξημένα όρια εκπομπών, τότε αγοράζουν οι ρυπογόνοι μόνο. Εάν, επιλεγεί μόνο ένας παραγωγός χαμηλών εκπομπών να ευνοηθεί τότε όλοι οι υπόλοιποι αγοράζουν δικαιώματα εφόσον τα χρειάζονται. Αντίθετα, αν η αγορά επιλέξει να ευνοήσει τον παραγωγό λιγνίτη αναγκάζει τους φιλικότερους να αγοράσουν δικαιώματα.

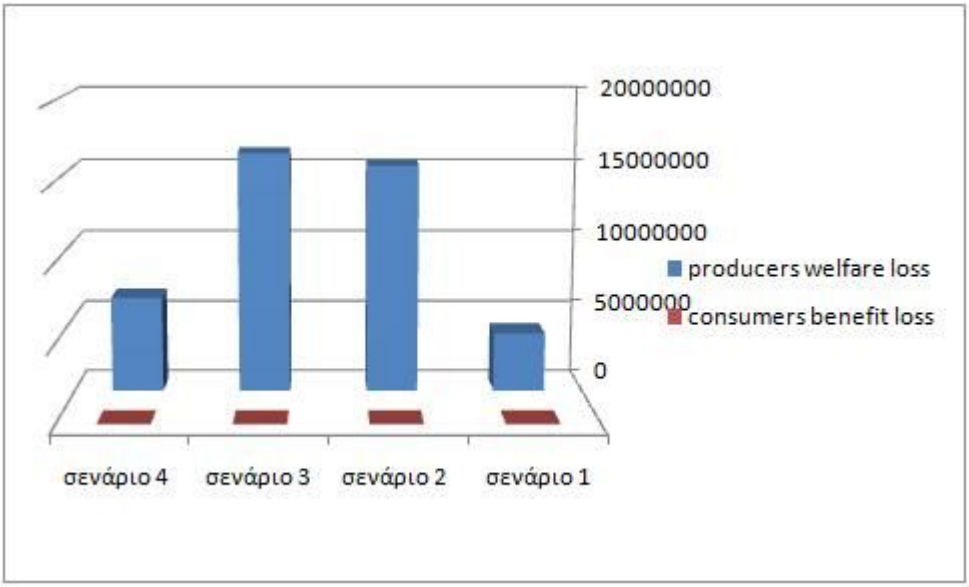
Σε όλα τα εξεταζόμενα βλέπουμε τον κυρίαρχο παραγωγό της αγοράς να μην μεταβάλλεται. Μόνο οι τιμές του κόστους επηρεάζονται, και δεν υπάρχει κάποια μεταβολή της σειράς των παραγωγών. Με άλλα λόγια διατηρείται ο οριακός παραγωγός. Από όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις ανάθεσης ορίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συμπεραίνουμε πως οι παραγωγοί ενέργειας έχουν το μικρότερο κόστος παραγωγής όταν τους ανατίθενται δίκαια τα όρια εκπομπών. Βέβαια, και το σενάριο της πριμοδότησης του παραγωγού λιγνίτη δεν προσθέτει μεγάλο επιπλέον κόστος. Οπότε, όσον αφορά τους παραγωγούς καταλήγουμε ότι η τοπική αγορά είναι προτιμότερο να προβαίνει σε θέσπιση ορίων στους παραγωγούς με τα ίδια κριτήρια ή να λειτουργεί ευνοϊκότερα μόνο για τον ρυπογόνο παραγωγό. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι παραγωγοί ενέργειας κερδίζουν λόγω του ότι η προσφερόμενη ποσότητα καλύπτεται κατά κύριο λόγω στον παραγωγό λιγνίτη που παράγει χωρίς να περιορίζεται από το σχέδιο. Διευκρινίζουμε ακόμη πως και όταν πριμοδοτείται ο παραγωγός λιγνίτη τότε πάλι τότε ο δείκτης πλούτου τους υφίσταται

μια μικρή μεταβολή αλλά είναι αμελητέα σε σχέση με τη μεταβολή των απωλειών τους όταν ευνοούνται οι παραγωγοί χαμηλών εκπομπών.



Σχήμα 6 - Μεταβολές της απώλειας πλούτου των παραγωγών

Διευκρινίζουμε ότι η ευνοϊκότερη ανάθεση περιορισμών των εκπομπών χαρακτηρίζεται από απώλεια πλούτου όπως έδειξε και ο παραπάνω πίνακας . Απλά, όπως βλέπουμε στο σχήμα 6 αν η κατανομή των ορίων ευνοήσει τους φιλικούς παραγωγούς τότε το κόστος εφαρμογής του σχεδίου επιβαρύνει κυρίως τον παραγωγό λιγνίτη. Παρατηρούμε ότι τα περιθώρια πλούτου τους μειώνονται εντονότερα. Και μάλιστα όταν ευνοείται μόνο ένας παραγωγός χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τότε πλήττονται περισσότερο. Λογικό, μιας και οι υπόλοιποι παραγωγοί αναγκάζονται να αγοράσουν μεγάλη ποσότητα δικαιωμάτων για να διατηρήσουν της παραγωγή τους στα επιθυμητά επίπεδα. Στην ουσία το κόστος συμμόρφωσης με το σχέδιο επιβαρύνει τους υπόλοιπους παραγωγούς.



Διάγραμμα - Ζημίες του πλούτου του παραγωγού και οφέλους των καταναλωτών

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται οι μεταβολές πλούτου που υφίστανται οι παραγωγοί και καταναλωτές. Οι παραγωγοί φαίνεται ότι επηρεάζονται και δεν κερδίζουν και οι καταναλωτές να επιβαρύνονται με αυξήσεις που δεν επιθυμούν. Το όφελος τους από την κατανάλωση της ποσότητας των παραγωγών δεν είναι αυτό που επιθυμούν. Πληρώνουν μεγαλύτερες τιμές από ότι θα ήθελαν να διαθέσουν. Από την μικροοικονομική θεωρία το άθροισμα αυτών των δύο στηλών του παραπάνω διαγράμματος υπολογίζει την απώλεια πλούτου της αγοράς. Επίσης, όπως είναι γνωστό από τη θεωρία της μικροοικονομίας, το πλεόνασμα των καταναλωτών υπολογίζεται από τον τύπο

$$CS = \acute{o}\phi\varepsilon\lambda o\varsigma - \kappa\acute{o}\sigma\tau o\varsigma\kappa\alpha\tau\alpha\nu\acute{\alpha}\lambda\omega\sigma\eta\varsigma$$

και των παραγωγών $PS = \acute{\varepsilon}\sigma o\delta\alpha - \kappa\acute{o}\sigma\tau o\varsigma\pi\alpha\rho\alpha\gamma\omega\gamma\acute{\eta}\varsigma$.

Οπότε, όντως βλέπουμε ότι τα σενάρια που πριμοδοτούν τους εκάστοτε φιλικούς προς το περιβάλλον παραγωγούς συνοδεύονται από μεγαλύτερη απώλεια πλούτου. Και τους συνοδεύονται από μεγαλύτερες επιπτώσεις στον πλούτο των παραγωγών. Επιπρόσθετα, καταλήγουμε ότι η δίκαιη κατανομή των ορίων εκπομπών επιβαρύνει σε μικρότερο βαθμό τους παραγωγούς γιατί μοιράζονται δίκαια το κόστος συμμόρφωσης με το σχέδιο εκπομπών EU ETS. Το παραπάνω σχήμα δείχνει πως το όφελος των καταναλωτών δεν επιβαρύνεται επιπρόσθετα. Δηλαδή ανεξάρτητα από τον αριθμό εκπομπών και με ποια κριτήρια αυτές κατανέμονται στους παραγωγούς, τα πλεονάσματα των καταναλωτών, όπως φαίνεται από τον παραπάνω τύπο, μειώνονται σε σχέση με τα πλεονάσματα τους πριν την εφαρμογή του σχεδίου EU ETS αλλά διατηρούνται σταθερά. Φαίνεται ότι υποχρεώνονται να «πληρώσουν» ένα μικρό μέρος του κόστους της εφαρμογής του σχεδίου αλλά το μερίδιο συνεισφορά τους δεν επηρεάζεται. Από την άλλη, εξετάζοντας τον τύπο των αποθεμάτων των

παραγωγών διαπιστώνουμε ότι υφίστανται μεγαλύτερες μεταβολές όταν αυξάνεται το κόστος παραγωγής τους. Με άλλα λόγια, όταν η αγορά επιλέξει να ευνοήσει τους παραγωγούς χαμηλών εκπομπών. Ένας ακόμη λόγος που επιβεβαιώνει ότι η δίκαιη κατανομή των ορίων εκπομπών στους παραγωγούς αποτελεί τρόπο σωστής κατανομής του κόστους του σχεδίου μας στους παραγωγούς ενέργειας. Ωστόσο, αν τα αποθέματα τους επηρεαστούν εξαρτάται από την τιμή της ενέργειας που θα επιβληθεί στους καταναλωτές. Και αν αυτή η τιμή δεν είναι ικανοποιητική, όπως συμβαίνει στην αγορά που εξέτασε το μοντέλο μας, τότε θα προκύψουν ελλείψεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η απόφαση για την εφαρμογή μιας πολιτικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συνοδεύεται από θέσπιση ορίων εκπομπών για όλες τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας της αγοράς. Τα όρια αυτά εξαρτώνται από το γενικό στόχο περιορισμού του σχεδίου. Όπως εξάγεται αμέσως, εφόσον περιορίζονται οι εκπομπές θα περιοριστεί η συνολική παραγόμενη ποσότητα ενέργειας. Οπότε είναι αναγκαίο η εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδίου όπως το EU ETS πρέπει να συνοδεύεται με τη δυνατότητα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής CO_2. Με αυτό τον τρόπο, τώρα οι παραγωγοί ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μειωμένη ποσότητα αλλά που έχει μεταβληθεί σε μικρότερο βαθμό.

Άρα, η εφαρμογή του σχεδίου μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα επιφέρει στους παραγωγούς πρόσθετο κόστος παραγωγής. Το πρόσθετο αυτό κόστος αφορά την υποχρέωση τους να συμμορφωθούν με τους περιορισμούς του σχεδίου. Οι παραγωγοί αντιμετωπίζουν πρόσθετο κόστος όταν αναγκάζονται να αγοράσουν δικαιώματα εκπομπής που παραγωγούς της αγοράς ή από τρίτους παραγωγούς εκτός της τοπικής αγοράς. Αναγκάζονται να προχωρήσουν στην αναζήτηση δικαιωμάτων προκειμένου να προσφέρουν μια ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας, μεγαλύτερη από το αν δεν χρησιμοποιούσαν δικαιώματα, και ταυτόχρονα να μην παραβαίνουν τους περιορισμούς που έλαβαν για μείωση των εκπομπών τους. Όταν οι παραγωγοί αγοράζουν δικαιώματα εκπομπής, τότε έχουν τη δυνατότητα να επιβαρύνουν την τιμή της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο, οι παραγωγοί μεταβιβάζουν στο μέτρο του δυνατού το πρόσθετο κόστος στους καταναλωτές

Στη γενικότερη περίπτωση οι καταναλωτές επιβαρύνονται με αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνουν. Ήδη έχουμε αναφέρει ότι το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών το επιβαρύνονται οι καταναλωτές. Μέσω αύξηση της τιμής οι παραγωγοί το μετακυλούν σε αυτούς. Επίσης, επειδή η ποσότητα της προσφερόμενης ποσότητας ενέργειας μειώνεται και σύμφωνα με την θεωρία της μικροοικονομικής ανάλυσης, οι καταναλωτές πιέζονται να διαθέσουν περισσότερα χρήματα. Οι δύο παραπάνω λόγοι, λοιπόν, πιέζουν για αυξήσεις της τιμής της ενέργειας και έχουν σαν αποτέλεσμα την απώλεια πλεονάσματος των καταναλωτών.

Ειδικότερα τώρα για την τοπική αγορά ηλεκτρισμού που εξετάσαμε στην παρούσα εργασία, οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας αναγκάζονται να περιορίσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με κριτήριο τις εκπομπές τους πριν την εφαρμογή του σχεδίου. Οπότε υποχρεώνονται να αγοράσουν με προσωπικό κόστος δικαιώματα εκπομπών. Η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής επηρεάζει το δείκτη ευημερίας ή πλούτου της αγοράς. Συγκριτικά πάντα με το ονομαστικό σενάριο που περιγράφει την εικόνα της αγοράς πριν την εφαρμογή του σχεδίου, ο δείκτης πλούτου μεταβάλλεται συνεχώς με φθίνοντα ρυθμό. Δηλαδή, όσο η τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής

αυξάνεται τόσο ο δείκτης πλούτου μειώνεται. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση του κόστους των παραγωγών αλλά και στην αύξηση του κόστους των καταναλωτών. Ωστόσο, βλέπουμε μερικούς παραγωγούς να κερδίζουν και τους άλλοι να χάνουν. Ειδικότερα, ο παραγωγός των ανανεώσιμων πηγών που δεν τον επηρεάζει το σχέδιο εκπομπών EU ETS σημειώνει κέρδη. Επίσης, ο παραγωγός λιγνίτη που χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα εκπομπών επωφελείται όταν η τιμή των δικαιωμάτων κυμαίνεται σε υψηλές τιμές και δεν προχωρά στην αγορά δικαιωμάτων. Ζημιώνονται περισσότερο όμως οι ακριβότεροι παραγωγοί γιατί αντιμετωπίζουν αυξημένο κόστος λόγω της αύξηση της παραγωγής. Καταλήγοντας η απώλεια πλούτου για την αγορά εξαρτάται από την μεταβολή της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής CO_2 , η οποία επηρεάζει με την σειρά της την ποσότητα που παράγει ο κάθε παραγωγός. Ειδικότερα, αναφέρουμε ότι για υψηλές τιμές των δικαιωμάτων εκπομπής ο ακριβός παραγωγός που είναι ο φιλικότερος προς το περιβάλλον παραγωγός, δηλαδή ρυπαίνει λιγότερο, αυξάνει την παραγωγή του παρασύροντας το συνολικό κόστος της παραγωγής μαζί του. Συνοψίζοντας μπορούμε να ισχυριστούμε τα περιθώρια πλούτου των παραγωγών συρρικνώνονται και η αγοραστική δύναμη των καταναλωτών περιορίζεται.

Η τοπική εξουσία έχει τη δυνατότητα να αποφασίζει για την κατανομή του κόστους της εφαρμογής του σχεδίου περιορισμού των εκπομπών με πολιτική εμπορίας μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών, είτε με τον κατάλληλο προσδιορισμό των ορίων των εκπομπών κάθε τεχνολογίας παραγωγής, είτε με τη νομοθετική θέσπιση άνω ορίου τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Με δεδομένη την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής, αν η αγορά αποφασίσει να ακολουθήσει μια πιο φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ενέργειας, τότε ότι πρέπει να πριμοδοτούνται οι τεχνολογίες χαμηλών ρύπων. Με αυτό τον τρόπο όμως, ο ανταγωνιστικός αφού είναι φτηνός παραγωγός υποχρεώνεται να αγοράσει αυξημένο αριθμό δικαιωμάτων. Πράγμα το οποίο συνεπάγεται αύξηση του κόστους παραγωγής. Αν ακολουθηθεί αυτή η επιλογή η απώλεια πλούτου είναι εντονότερη από την απώλεια που αντιμετώπιζε η αγορά όταν τα όρια κατανέμονταν με τα ίδια κριτήρια. Μπορούμε να ισχυριστούμε πως ναι μεν η αγορά προσπαθεί και δίνει κίνητρα στους παραγωγούς χαμηλών ρύπων να αυξήσουν την παραγωγή τους, αλλά αυτοί δεν εκμεταλλεύονται την αύξηση των ορίων των εκπομπών που τους έγινε. Δεν αναζητούν να αγοράσουν δικαιώματα εκπομπής και μόνο εκμεταλλεύονται την αύξηση του ορίου των εκπομπών τους. Οπότε, η προσπάθεια της αγοράς αποτυγχάνει. Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα που εξάγεται, είναι πως το κόστος εφαρμογής του σχεδίου επιβαρύνει μερικούς από τους παραγωγούς. Δηλαδή, διαπιστώνεται ότι δεν μοιράζεται στον ίδιο βαθμό το κόστος σε όλους τους παραγωγούς και έτσι ορισμένοι να ζημιώνονται εντονότερα.

Στην περίπτωση που θελήσει να είναι δίκαιη με τους παραγωγούς ενέργειας και το κόστος του σχεδίου εκπομπών να ισομοιραστεί μεταξύ τους, τότε καταλήγουμε ότι πρέπει να προχωρήσει σε δίκαιη κατανομή των ορίων εκπομπών με βάση τις πριν του

σχεδίου εκπομπές τους. Η ακόμη να ευνοήσει τον παραγωγό λιγνίτη επιτρέποντας του να εκπέμπει ελαφρώς περισσότερο. Τότε, η συνολική απώλεια πλούτου κυμαίνεται σε μικρότερα επίπεδα από ότι αν η αγορά επέλεγε μια φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Όταν η νομοθετική εξουσία της αγοράς αποφασίσει ότι ο καταναλωτής χρήζει ανάγκη προστασίας από υπέρογκες αυξήσεις τιμών της ενέργειας που επιβάλουν οι παραγωγοί, τότε ορίζουν νομοθετικά το άνω όριο της τιμής της ενέργειας. Με λίγα λόγια, με τον τρόπο αυτό περιορίζουν τις αυξήσεις της τιμής της ενέργειας.

Καταλήγοντας, ο κατάλληλος προσδιορισμός των ορίων εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα διαμορφώνει την κατανομή του κόστους της εφαρμογής της πολιτικής περιορισμού των εκπομπών CO_2 και εμπορίας δικαιωμάτων. Επιλέγοντας τα όρια εκείνα εκπομπών καθώς και της τιμής της ενέργειας μπορεί η αγορά να επηρεάζει το ποσό επιβάρυνσης που υφίστανται οι καταναλωτές και παραγωγοί. Και ειδικότερα, να αποφασίζει πως θα διαμοιράσει το κόστος ανάμεσα στους παραγωγούς. Έχει τη δυνατότητα να ευνοεί παραγωγούς με το να μην επιβαρύνονται με το κόστος του σχεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{Ο}

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία άντλησε τις απαραίτητες πληροφορίες για τη ανάπτυξη του θέματος της που αφορά το ευρωπαϊκό σχέδιο μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 καθώς και την εμπορία των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από:

1) **Interaction of the EU ETS with Green and White Certificate Schemes του NERA** European Commission Directorate-General Environment .

2) **White Certificates schemes: Economic Analysis and Interactions with EU ETS των Steve Sorell, David Harisson, Daniel Radov, Per Klevas and Andrew Foss** που δημοσιεύτηκε στο επιστημονικό περιοδικό Elsevier.

3) **Implementing the EU Renewables Directive του Karstern Neuhoff**

4) **Macroeconomics of energy saving and energy efficiency as a tool to design effective policy options των Oikonomou Vlasis, Becchis Franco, Russollio Danielle and Steg.**

5) **Microeconomics using Excel** Integrating economic theory, policy analysis and spreadsheet modeling των **Kurt Jechlitschka, Dieter Kirschke and Gerald Schwarz.**

6) **Modelling Imperfect Competition of the Nordic Electricity Market with Balmorel της Danish Energy Research Program 2003** που φέρει τον τίτλο και από σχετικές επίσημες αναφορές αναρτημένες στη σελίδα **http://tutor2u.net/economics/content/topics/competition**.

7) **The value of tradable Emission Permits – Development and Exemplary Application of a Valuation Method Based on Internal Opportunity Costs του Frederic Georges Brodach**.

8) **Endogenised Learning in Markal των Leonardo Baretto και Socrates Kypreos**

9) **Use of experience curves to estimate the future cost of power plants with CO_2 capture των Edward Rubin, Sonia Yeh, Matt Antes, Michael Bekenpas, John Davison**

10) Από την διαδικτυακή βιβλιοθήκη **Wikipedia** στη σελίδα **http://el.wikipedia.org**