



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρης Σιετής

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος, 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρης Σιετής

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Ιανουαρίου 2014.

.....
Β. Ασημακόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δ. Ασκούνης
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2014

.....

Άρης Σιετής

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

Copyright © Άρης Σιετής, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των επιπτώσεων της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης. Το εργαστήριο υπάγεται στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας διεξήχθη υπό την επίβλεψη του κ. Ιωάννη Ψαρρά, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο και οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Χάρη Δούκα, Λέκτορα του Ε.Μ.Π και τον Δημήτρη Αγγελόπουλο, υποψήφιο Διδάκτορα του Ε.Μ.Π., για την αμεσότητα της συνεργασίας μας και τη συνεχή καθοδήγηση που μου έδειξαν καθ' όλη την πορεία της διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Κυρίως όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την μητέρα μου και τον πατριό μου για τη διαρκή στήριξη τους όλα τα χρόνια της φοίτησής μου.

Αθήνα, Ιανουάριος 2014

Άρης Σιετής

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχει παρουσιάσει ραγδαία εξέλιξη ενώ περισσότεροι στόχοι έχουν τεθεί για την διείσδυση της Ανανεώσιμης Ενέργειας μέχρι το 2020 και έπειτα. Ωστόσο, σκεπτικιστές ενίστανται ότι η παρούσα προσέγγιση για την ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με την ενσωμάτωση των ΑΠΕ είναι νομοτελειακά καταδικασμένη διότι οδηγεί σε εξαιρετικά ανελαστικές καταστάσεις που απειλούν την ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παρούσα εργασία εστιάζει την ανάλυση στις επιπτώσεις της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας στις τιμές των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι ρόλοι και οι συσχετισμοί μεταξύ των παραγωγών, των χονδρέμπορων, των τελικών καταναλωτών καθώς και των διαχειριστών του συστήματος μεταφοράς αναλύονται. Επιπλέον, παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι βασικοί μηχανισμοί καθορισμού της τιμής και οι πιο διαδεδομένοι μηχανισμοί στήριξης των ΑΠΕ, όχι μόνο θεωρητικά αλλά και μέσα από εμπειρική μελέτη. Η υψηλή αιολική διείσδυση στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες και ειδικότερα στη Γερμανία, σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ, αναλύεται καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πηγής ενέργειας (υψηλή ένταση ανέμου τις βραδινές ώρες, υψηλά επίπεδα στοχαστικής συμπεριφοράς και γρήγορες μεταβολές, κατώφλι ασφαλούς λειτουργίας). Οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στο επίπεδο τιμών χονδρικής και λιανικής μελετώνται και εξηγούνται τόσο θεωρητικά όσο και εμπειρικά στην προσπάθεια να αξιολογηθεί η τελική επίπτωση στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακόμα, οι αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, ένα φαινόμενο που πηγάζει από την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας, αναλύονται. Οι αρνητικές τιμές συνέβησαν πρώτη φορά την Γερμανία το 2009 όταν επιτράπη στους παραγωγούς να προσφέρουν σε αρνητικές τιμές την ηλεκτρική ενέργεια. Η κατάσταση που οδήγησαν σε αυτό το φαινόμενο όπως και οι προεκτάσεις που συνεπάγονται αναλύονται ενώ αξιολογούνται και τα επιχειρήματα πίσω από την αδειοδότηση της ύπαρξης τους από τους λειτουργούς των αγορών. Επίσης, έμφαση δίνεται στην ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ της αιολικής διείσδυσης και της μεταβλητότητας των τιμών. Τα ακανθώδη επακόλουθα που προκύπτουν από αυτή τη σκοπιά είναι μείζουσας σημασίας για την λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως για την πλευρά της προσφοράς.

Τέλος, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις που δημιουργούνται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με την διείσδυση της αιολικής ενέργειας εξετάζονται καταλήγοντας σε συμπεράσματα για την βιωσιμότητα του συστήματος σε σχέση με την δυναμική εξέλιξη που παρουσιάζει. Στο πλαίσιο αυτό παρατίθενται λύσεις και προτάσεις τόσο για την βραχυπρόθεσμη απαλοιφή των προβλημάτων όσο και μακροπρόθεσμη δομική αλλαγή του συστήματος ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες που μπορούν να εναρμονίσουν την πράσινη ανάπτυξη με την βιωσιμότητα και την ασφάλεια της παραγωγής και της τροφοδότησης.

Λέξεις κλειδιά: αιολική ενέργεια, μείωση τιμών, αρνητικές τιμές, μεταβλητότητα τιμών, μηχανισμός στήριξης

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών
Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ABSTRACT

Through the last decade, the Renewable Energy Source (RES) deployment has been rapidly increasing in Europe and more targets have been set regarding the penetration of Renewable Energy until 2020. Sceptics protest that the current approach of the electricity market development and RES integration is unavoidably doomed because it leads to extremely tight situations that threaten the stability of the market.

This paper focuses on the investigation of the effects of wind power penetration on the prices in electricity markets. Specifically, the basic characteristics of any electricity market are demonstrated and the roles and the dynamics of the producers, the retailers, the final consumers and the TSOs are analyzed.

Furthermore, the main Price Settling Mechanisms and the possible RES support schemes are presented and compared not only theoretically but also via empirical investigation of the European countries that have already implemented them. The high wind power penetration through the biggest European countries and especially in Germany, compared to other RES, and also the special characteristics of this particular energy source (high wind intensity at night, high stochastic behavior and quick changes, safety thresholds etc) are also included in this analysis.

The Merit Order Effect is explained and illustrated via both theoretical and empirical approach trying to evaluate the final total cost of the support scheme for the final consumers regarding wind production and decide eventually if it is beneficial or not from a consumers' perspective.

Moreover, Negative Electricity Prices, a phenomenon that stems from the integration of wind power is also explained. Negative Electricity Prices initially occurred in Germany at 2009 when EPEX allowed producers to bid at negative prices. The situation is analyzed, the arguments that support their existence are examined and the reasons that lead to such ambiguous and controversial situations are put under the microscope. Also, the correlation between the volatility of the electricity prices and the wind power integration is examined and the threats that may occur from this interplay are analyzed.

A review of the solutions currently presented in the literature which are aiming either at a short term decompression of the problem or at long term structural changes is incorporated in this paper. Finally, suggestions are made on both issues and solutions, regarding the optimal operation of the electricity markets, compared to the existing European Markets, and also an overview of the current scientific literature about this subject is presented.

Keywords: wind power integration, merit order effect, RES support scheme, electricity price volatility

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
Περιεχόμενα.....	11
Ευρετήριο Σχημάτων.....	15
Ευρετήριο Πινάκων.....	21
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	25
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός.....	27
1.2 Φάσης Υλοποίησης.....	29
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	30
Κεφάλαιο 2 ^ο : Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	33
2.1 Περιγραφή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	35
2.1.1 Ηλιακή Ενέργεια	
2.1.2 Γεωθερμική ενέργεια	
2.1.3 Ενέργεια από Βιομάζα	
2.1.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	
2.1.5 Ενέργεια από τη Θάλασσα	
2.1.6 Αιολική Ενέργεια	
2.2 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	38
2.2.1 Περιβαλλοντικά Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας	
2.122 Κοινωνικά Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας	
2.3 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	41
2.3.1 Περιβαλλοντικά Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας	
2.3.2 Τεχνικά Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας	
Κεφάλαιο 3 ^ο : Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	55
3.1 Απελευθέρωση Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	57
3.2 Χρηματιστήριο Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	59
3.2.1 Ιστορική Αναδρομή της Χρηματιστηριακής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη	
3.2.2 Μηχανισμοί Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας	
3.2.3 Δομή Χρηματιστηρίου Ενέργειας	
3.2.4 Λειτουργοί Χρηματιστηριακής Αγοράς της Γερμανίας.	
3.3 Επικουρικές Υπηρεσίες Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	74
3.3.1 Ρύθμιση Συχνότητας & Ρύθμιση Τάσης	
3.3.1.1 Εφεδρεία Πρωτεύουσας Ρύθμισης	
3.3.1.2 Εφεδρεία Δευτερεύουσας Ρύθμισης	
3.3.1.3 Εφεδρεία Τριτεύουσας Ρύθμισης	
3.4 Μηχανισμοί Διαχείρισης Διασυνδέσεων μεταξύ των Χωρών.....	76
3.4.1 Άμεση Δημοπρασία των Διασυνδέσεων	
3.4.2 Έμμεση Δημοπρασία των Διασυνδέσεων	
3.5 Μηχανισμοί Στήριξης των ΑΠΕ.....	81

- 3.5.1 Ποσοτικά Συστήματα
- 3.5.2 Συστήματα Τιμών

Κεφάλαιο 4 ^ο : Αιολική Διείσδυση στη Γερμανία & Μηχανισμός Στήριξης EEG.....	87
4.1 Δεδομένα Εξέλιξης Αιολικής Διείσδυσης στη Γερμανία.....	89
4.2 Προβλέψεις για Μελλοντική Αιολική Διείσδυση στη Γερμανία.....	91
4.3 Στοιχεία για το Renewable Energy Act.....	92
4.3.1 Εγγυημένες Τιμές Πληρωμών	
4.3.2 Μηχανισμός Απευθείας Σύνδεσης στην Αγορά	
Κεφάλαιο 5 ^ο : Επιπτώσεις της Αιολικής Διείσδυσης στο Επίπεδο των Τιμών.....	95
5.1 Άμεση Επίπτωση της Διείσδυσης της Αιολικής Ενέργειας.....	99
στο Επίπεδο των Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας	
5.1.1 Γραφική Ανάλυση	
5.1.2 Αλγεβρική Μοντελοποίηση	
5.1.3 Αριθμητικό Παράδειγμα	
5.1.4 Συμπεράσματα	
5.2 Ανάλυση Ευαισθησίας της Επίπτωσης για Διαφορετικές Παραμέτρους.....	117
5.2.1 Όγκος Εισροής της Αιολικής Ενέργειας	
5.2.2 Συνολικό Φορτίο Ζήτησης	
5.2.3 Ελαστικότητα Καμπύλης Ζήτησης	
5.2.4 Διαθέσιμο Δυναμικό Συμβατικών Παραγωγών	
5.2.5 Τιμές Καυσίμων	
5.2.6 Τιμές Δικαιωμάτων Εκπομπών CO ₂	
5.3 Μηχανισμοί Σχετικοί με την Έμμεση Επίπτωση της Αιολικής Διείσδυσης.....	127
στο Επίπεδο των Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας	
5.3.1 Πρωτόκολλο του Κιότο	
5.3.2 Μηχανισμός Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών	
5.3.3 Σχέση Αιολικής Διείσδυσης & EU-ETS	
5.4 Έμμεση Επίπτωση της Διείσδυσης της Αιολικής Ενέργειας.....	130
στο Επίπεδο Τιμών της Ηλεκτρικής Ενέργειας	
5.4.1 Γραφική Ανάλυση	
5.4.2 Αλγεβρική Μοντελοποίηση	
5.4.3 Συμπεράσματα	
Κεφάλαιο 6 ^ο : Αρνητικές Τιμές Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	145
6.1 Απλοποιημένη Προσέγγιση.....	147
6.2 Ελαστικότητα της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	148
6.2.1 Ελαστικότητα της Πλευράς Ζήτησης	
6.2.2 Ελαστικότητα της Πλευράς Προσφοράς	
6.3 Διαμόρφωση Αρνητικών Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	152
6.3.1 Ενεργειακό Μείγμα Συμβατικών Παραγωγών	
6.3.2 Αγορά Εφεδρείας Ηλεκτρικής Ενέργειας	
6.3.3 Δυνατότητες Διασυνδέσεων μεταξύ των Χωρών	
6.4 Μελέτη Περίπτωσης : Γερμανία.....	158
6.4.1 Ποσότητες Αρνητικής και Θετικής Εφεδρείας	
6.4.2 Διαθέσιμη Παραγωγική Ικανότητα Κάθε Πηγής	
6.4.3 Πραγματικές Τιμές Χρηματιστηρίου για Διάστημα 10/2009 εως 11/2010	

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

- 6.4.4 Ελαστικότητα Κάθε Τεχνολογίας Παραγωγής
- 6.4.5 Μελέτη Περιπτώσεων Αρνητικών Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- 6.4.6 Πιθανοτική Μελέτη Δημιουργίας Ανελαστικών Καταστάσεων

Κεφάλαιο 7 ^ο : Επίπτωση της Αιολικής Διείσδυσης στη Διακύμανση των Τιμών.....	173
7.1 Ορισμός του Capacity Credit.....	176
7.2 Αιτίες Αύξησης της Μεταβλητότητας των Τιμών.....	178
7.2.1 Διαδικασία Αποεποχικοποίησης των Τιμών	
7.2.2 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	
7.3 Συμπεράσματα.....	183
.	
Κεφάλαιο 8 ^ο : Μακροχρόνιες Επιπτώσεις.....	185
8.1 Προβλήματα & Συνέπειες.....	187
8.2 Μεταβολές στο Συμβατικό Παραγωγικό Δυναμικό.....	188
8.3 Ανάλυση της Άμεσης Επίπτωσης στις Μακροχρόνιες Μεταβολές.....	190
8.3.1 Γραφική Ανάλυση & Θεωρητική Επεξήγηση	
8.3.2 Αριθμητικό Παράδειγμα	
8.4 Ανάλυση της Έμμεσης Επίπτωσης στις Μακροχρόνιες Μεταβολές.....	192
8.4.1 Γραφική Ανάλυση & Θεωρητική Επεξήγηση	
Κεφάλαιο 9 ^ο : Προτεινόμενες Κατευθύνσεις.....	195
9.1 Βραχυπρόθεσμες Λύσεις.....	197
9.1.1 Θεσμικές Μεταβολές στο Μηχανισμό Στήριξης	
9.1.2 Θεσμικές Μεταβολές στη Λειτουργία της Αγοράς Ενέργειας	
9.2 Μακροπρόθεσμες Λύσεις.....	201
9.2.1 Ελαστικότητα Ζήτησης μέσω των Smart Grids	
9.2.2 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας	
9.2.3 Σύγκριση των Εφαρμογών των Κυριότερων Αποθηκευτικών Μέσων	
9.2.4 Γεωγραφική Διασπορά Αιολικής Ισχύος & Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	
Κεφάλαιο 10 ^ο : Συμπεράσματα και Προοπτικές.....	219
10.1 Συμπεράσματα.....	221
10.2 Προοπτικές.....	223
Βιβλιογραφία.....	225

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1 Δυνατότητες εργασιακής απασχόλησης για κάθε τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Wei, Patadia και Kammen 2009 University of California, Berkley

Σχ.2 Γεωγραφική κατανομή αιολικών τουρμπινών στη Γερμανία

Πηγή: IWES

Σχ.3 Σύστημα μεταβλητής ταχύτητας με σύγχρονη η επαγωγική μηχανή

Πηγή: Σημειώσεις ΑΠΕ Σταύρος Παπαθανασίου

Σχ.4 Το ηλεκτρικό σύστημα του παραδείγματος

Πηγή: Power System Analysis, John Grainger, William Stevenson, Jr

Σχ.5 Ισορροπία ισχύος σε συμβατικό σταθμό παραγωγής

Πηγή: Power System Analysis, John Grainger, William Stevenson, Jr

Σχ.6 Χάρτης περιφερειών ENTSO-E 2011

Πηγή: ENTSO-E, ιστοσελίδα: <https://www.entsoe.eu>

Σχ.7 Απεικόνιση λειτουργίας χρηματιστηρίου ενέργειας

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ.8 Βασική δομή μιας δημοπρασίας

Πηγή: Madlener, Reinhard, and Markus Kaufmann. "Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence."

Σχ.9 Καθορισμός οριακής τιμής του συστήματος

Πηγή: Madlener, Reinhard, and Markus Kaufmann. "Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence."

Σχ.10 Χρονική αλληλουχία χρηματιστηριακών αγορών

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ.11 Δομή ηλεκτρικής αγοράς Γερμανίας

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ.12 Δημιουργία EPEXSPOT & EEX Derivatives

Πηγή: Διπλωματική Ανάλυση Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Γαλλία, Μαρνέρης Ηλίας

Σχ.13 Ζώνες διαχειριστών συστήματος μεταφοράς

Πηγή: Wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/European_Network_of_Transmission_System_Operators_for_Electricity

Σχ.14 Εξέλιξη όγκου συναλλαγών στο EPEXSPOT

Πηγή: EPEXSPOT

Σχ.15 Εξέλιξη όγκου συναλλαγών στο EEX

Πηγή: EEX Derivatives

Σχ.16 Μηχανισμοί στήριξης ΑΠΕ στην Ευρώπη

Πηγή: Διπλωματική Ανάλυση Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Γαλλία, Μαρνέρης Ηλίας

Σχ.17 Εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στη Γερμανία

Πηγή: Fraunhofer IWES

Σχ.18 Εξέλιξη της ετήσιας αιολικής παραγωγής στη Γερμανία σε TTP

Πηγή: Eurostat

Σχ.19 Πρόβλεψη της εξέλιξης της παραγωγής ΑΠΕ στη Γερμανία

Πηγή: BMU 2012

Σχ.20 Τυπική αθροιστική καμπύλη προσφοράς

Πηγή: Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*

Σχ.21 Μετατόπιση καμπύλης προσφοράς & μείωση της οριακής τιμής

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ.22 Μετατόπιση γραμμικοποιημένης καμπύλης προσφοράς & μείωση της οριακής τιμής

Πηγή: Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*

Σχ.23 Μετατόπιση καμπύλης ζήτησης (υπολειπόμενη ζήτηση) & μείωση της οριακής τιμής

Πηγή: Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. "The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany."

Σχ.24 Μεταβολή της μεταβολής της οριακής τιμής του συστήματος

Πηγή: Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. "The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany."

Σχ.25 Mark up συναρτήσει του ποσού των feed in tariffs

Πηγή: Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*

Σχ.26 Mark up συναρτήσει της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

Πηγή: Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*

Σχ.27 Συνολική επίπτωση στην τελική τιμή συναρτήσει του ποσού των feed in tariffs

Πηγή: Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*

Σχ.28 Εξέλιξη τιμών δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ στη 1^η φάση του EU-ETS

Πηγή: Σημειώσεις Διαχείριση Ενέργειας & Περιβαλλοντική Πολιτική Ιωάννης Ψαρράς

Σχ.29 Μεταβολή οριακού κόστους λόγω έμμεσης επίπτωσης

Πηγή: Sáenz de Miera, Gonzalo, Pablo del Río González and Ignacio Vizcaíno. "Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices: The case of wind electricity in Spain."

Σχ.30 Λειτουργία πυρηνικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

πηγή: <http://science.howstuffworks.com/nuclear-power2.htm>

Σχ.31 Λειτουργία λιγνιτικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: <http://www.eeh.ee.ethz.ch/en/power/power-systems-laboratory/publications/journal-papers.html>

Σχ.32 Αρνητική τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Nicolosi, Marco. "Wind power integration and power system flexibility—An empirical analysis of extreme events in Germany under the new negative price regime."

Σχ.33 Πραγματική καμπύλη προσφοράς του χρηματιστηρίου ενέργειας της Γερμανίας

Πηγή: EEX (2010) spot prices and residual load(10/2008–12/2009) EEX, BDEW and ENTSO-E

Σχ.34 Ποσοστό πυρηνικής παραγωγής επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Πηγή: Δεδομένα EEX

Σχ.35 Ποσοστό λιγνιτικής παραγωγής επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Πηγή: Δεδομένα EEX

Σχ.36 Ποσοστό παραγωγής σκληρού άνθρακα επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Πηγή: Δεδομένα EEX

Σχ.37 Ποσοστό παραγωγής φυσικού αερίου επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Πηγή: Δεδομένα EEX

Σχ.38 Διάγραμμα τιμής ηλ. ενέργειας & τριτεύουσας εφεδρείας & αιολικής παραγωγής & συμβατικών πηγών παραγωγής

Πηγή: Nicolosi, Marco. "Wind power integration and power system flexibility—An empirical analysis of extreme events in Germany under the new negative price regime."

Σχ.39 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αιολικής παραγωγής

Πηγή: Δεδομένα από BDWM

Σχ.40 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το επίπεδο συνολικής ζήτησης & υπολειπόμενης ζήτησης

Πηγή: Δεδομένα από BDWM

Σχ.41 Ετήσιες καμπύλες διάρκειας φορτίου

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ. 42 Εγκατεστημένη ισχύς και πραγματική παραγωγή για αιολική και φωτοβολταϊκή ενέργεια

Πηγή: BMU 2012

Σχ. 43 Επίπεδο αιολικής παραγωγής και capacity credit

Πηγή: <http://www.eeg-kwk.de/>

Σχ. 44 Αρνητική συσχέτιση αιολικής παραγωγής και τιμής ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: European Energy Exchange (EEX).

Σχ. 45 Εξέλιξη χονδρικής τιμής χρηματιστηρίου Γερμανίας

Πηγή: Datastream and EEX.

Σχ. 46 Εποχικότητα τιμής κατά της διάρκεια μιας εβδομάδας

Πηγή: Janina C. Ketterer The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany

Σχ. 47 Αποεποχικοποιημένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Janina C. Ketterer The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany

Σχ. 48 Λογαριθμική αποεποχικοποιημένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Janina C. Ketterer The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany

Σχ. 49 Μεταβολή της ενεργειακής πίτας των συμβατικών παραγωγών μέσω της μεταβολής της καμπύλης φορτίου

Πηγή: Nicolosi, Marco. "Wind power integration and power system flexibility—An empirical analysis of extreme events in Germany under the new negative price regime."

Σχ. 50 Μεταβολή της ενεργειακής πίτας των συμβατικών παραγωγών μέσω της μεταβολής του οριακού κόστους κάθε τύπου συμβατικής παραγωγής

Πηγή: Sáenz de Miera, Gonzalo, Pablo del Río González and Ignacio Vizcaíno. "Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices: The case of wind electricity in Spain."

Σχ. 51 Μηχανισμός διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματοροών

Πηγή: Συγγραφέας

Σχ. 52 Απεικόνιση της λειτουργίας των Smart Grids

Πηγή: <http://horizonenergy.blogspot.gr/>

Σχ. 53 Αποθήκευση ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης

Πηγή: Οικονομική, Περιβαλλοντική, Θερμοδυναμική σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, Ζαραγιάννης Θεόδωρος

Σχ.54 Αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος συμπίεσης αέρα

Πηγή: Οικονομική, Περιβαλλοντική, Θερμοδυναμική σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, Ζαραγιάννης Θεόδωρος

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Ενεργειακή απόσβεση & εκπομπές καυσαερίων διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Kaltschmitt et al. & Lewin, Fritsch et al.

Πίνακας 2 : Αιτίες θνησιμότητας πτηνών

Πηγή: EWEA FACTSHEETS 2009

Πίνακας 3 : Μέσες στάθμες θορύβου σε ντεσιμπέλ για κάθε αιτία θορύβου

Πηγή: EWEA

Πίνακας 4 : Κατηγοριοποίηση τύπων δημοπρασίας

Πηγή: Madlener, Reinhard, and Markus Kaufmann. "Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence."

Πίνακας 5 : Εφαρμογή μηχανισμού πράσινων πιστοποιητικών στην Ευρώπη

Πηγή: Haas, Reinhard, et al. "A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries."

Πίνακας 6: Βασικότεροι μηχανισμοί προώθησης ΑΠΕ

Πηγή: Συγγραφές

Πίνακας 7 : Εγγυημένες τιμές πληρωμών για αιολικούς παραγωγούς για το 2013 στη Γερμανία

Πηγή: BMU 2012

Πίνακας 8: Μηχανισμός απευθείας σύνδεσης στην αγορά (EEG 2013)

Πηγή: Renewable Sources Energy Act (EEG) 2012 Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety 2012

Πίνακας 9: Σχηματισμός τιμής λιανικής για οικιακούς καταναλωτές στη Γερμανία 2006

Πηγή: Bode, Sven; Groscurth, Helmuth-Michael (2006) : The Effect of the German Renewable Energy Act (EEG) on "the Electricity Price"

Πίνακας 10 : Σχηματισμός τιμής λιανικής για επιχειρηματικούς καταναλωτές στη Γερμανία 2006

Πηγή: Bode, Sven; Groscurth, Helmuth-Michael (2006) : The Effect of the German Renewable Energy Act (EEG) on "the Electricity Price"

Πίνακας 11: Τιμή ισορροπίας του συστήματος & συνολική συναλλασσόμενη ποσότητα συναρτήσει της αιολικής παραγωγής & της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

Πηγή: Bode, Sven. On the impact of renewable energy support schemes on power prices

Πίνακας 12 : Mark up συναρτήσει της αιολικής παραγωγής & της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

Πηγή: Bode, Sven. On the impact of renewable energy support schemes on power prices

Πίνακας 13: Ανάλυση ευαισθησίας του Merit Order Effect συναρτήσει των τιμών των καυσίμων

Πηγή: Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. "The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany."

Πίνακας 14 : Ανάλυση ευαισθησίας του Merit Order Effect συναρτήσει των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂

Πηγή: Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. "The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany."

Πίνακας 15 : Δημοπρατημένες ποσότητες αρνητικών εφεδρειών 10/2008-12/2009

Πηγή: Δεδομένα από Regelleistung.net

Πίνακας 16 : Διαθέσιμη εγκατεστημένη ισχύς για τις κυριότερες τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας στη Γερμανία

Πηγή: Δεδομένα από BMU 2012 & EEX transparency

Πίνακας 17 : Δεδομένα πλευράς προσφοράς για περιπτώσεις ακραίων αρνητικών τιμών

Πηγή: Δεδομένα από EEX

Πίνακας 18 : Δεδομένα πλευράς ζήτησης για περιπτώσεις ακραίων αρνητικών τιμών

Πηγή: Δεδομένα από EEX, BDEW και ENTSO-E

Πίνακας 19 : Τιμές τριτεύουσας εφεδρείας για τις 19 ώρες με τις πιο ακραίες αρνητικές τιμές

Πηγή: Δεδομένα από EEX και Regelleistung.net

Πίνακας 20 : Στατιστικοί δείκτες για τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (2^ο τετράμηνο 2011 - 1^ο τετράμηνο 2012)

Πηγή: Janina C. Ketterer , The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany

Πίνακας 21 : Συντελεστές αποεποχικοποίησης & P-Values

Πηγή: Janina C. Ketterer , The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany

Πίνακας 22 : Σύγκριση συστημάτων πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πίνακας 23 : Σύγκριση συστημάτων βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

Πίνακας 24 : Σύγκριση συστημάτων μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

Πίνακας 25 : Σύγκριση συστημάτων μακροπρόθεσμης αποθήκευσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

Πίνακας 26 : Συνοπτική σύγκριση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει κυρίως τα οικονομικά ζητήματα που εγείρονται από τη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας και ιδίως της Γερμανίας. Όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω, προκειμένου να ευδοκιμήσουν και να εξαπλωθούν οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας στη Γερμανία, αλλά και παντού στην Ευρώπη, συστάθηκαν μηχανισμοί οι οποίοι στήριξαν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δηλαδή τις ανανεώσιμες τεχνολογίες. Αυτό συνέβει διότι οι υπάρχουσες τεχνολογίες παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας δεν είναι ακόμα ανταγωνιστικές σε σχέση τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής (Πυρηνική Ενέργεια, Λιγνιτικά Εργοστάσια, Εργοστάσια Σκληρού Άνθρακα, Πετρελαιοπαραγωγή, Φυσικού Αερίου κτλ.) εξαιρώντας τα μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά. Μη ανταγωνιστικές είναι διότι ακόμα τα επενδυτικά κόστη είναι πολύ υψηλά, και ενώ στα περισσότερα υπάρχουν μηδενικά μεταβλητά κόστη καθώς δεν πληρώνουν οι παραγωγοί για καύσιμο, το ύψος των τιμών των αγορών δεν επαρκεί ώστε να χρηματοδοτήσει τις επενδύσεις.

Αυτή η στήριξη που δίνεται ωστόσο κοστίζει καθώς το κράτος επεμβαίνει και δεν λειτουργεί ελεύθερα ο ανταγωνισμός. Το κόστος που προκύπτει από τους μηχανισμούς στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προφανώς αυξάνεται όσο αυξάνεται η διείσδυση και η εγκατεστημένη ισχύς τους. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί κατανομής του κόστους αυτού σε όλους τους κατοίκους που επωφελούνται εμμέσως από την αντικατάσταση συμβατικής ενεργειακής παραγωγής από ανανεώσιμη (positive externalities of RES). Ορισμένοι προτείνουν να υπάρχει ειδικός φόρος σε όλους τους φορολογούμενους πολίτες ενώ άλλοι να συνδράμει κάθε φορολογούμενος ανάλογα με την χρηματοδοτική του ικανότητα. Παρόλα αυτά το συνηθέστερο σύστημα για τον καταμερισμό τους κόστους είναι μέσω του λογαριασμού ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα στη Γερμανία, που επικρατεί ο μηχανισμός feed-in tariff οπότε είναι σταθερές οι πληρωμές, το επιπλέον κόστος που προκύπτει στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) πληρώνεται από τον τελικό καταναλωτή. Έτσι ο κάθε καταναλωτής συμμετέχει στη χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης ανάλογα με την κατανάλωση του (περαιτέρω ανάλυση για τον μηχανισμό κατανομής του συνολικού κόστους χρηματοδότησης των μηχανισμών στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ακολουθεί παρακάτω).

Όμως, πολλοί κατακρίνουν τον μηχανισμό στήριξης ότι επιβαρύνει υπερβολικά τα οικιακά τιμολόγια με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να πλήγονται δυσβάσταχτα. Επίσης, ο διεθνής επιχειρηματικός κλάδος με έντονη ενεργειακή κατανάλωση (τσιμεντοβιομηχανίες, αλουμινοβιομηχανίες, κατασκευαστικές εταιρείες, χαλυβουργικές), ιδίως της Γερμανίας που πρωτοπορεί με τη ένταση που έχει δώσει στην στήριξη των ΑΠΕ, υποστηρίζει ότι έχει πληγεί βάνουσα η ανταγωνιστικότητα του σε σχέση με τους αντίστοιχους άλλων χωρών, λόγω των επιβαρύνσεων που υπόκειται για την χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης. Υποστηρίζουν πως έτσι μειώνεται το ΑΕΠ της χώρας δημιουργώντας πληθώρα συνεπακόλουθων προβλημάτων τόσο στον επιχειρηματικό κόσμο όσο και στο κράτος άρα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

κατ' επέκταση και στους φορολογούμενους πολίτες (να επισημανθεί ότι στη Γερμανία υπάρχει πρόβλεψη για διάκριση των τιμολογίων μεταξύ επιχειρηματικών και οικιακών καταναλωτών στην οποία θα επανέλθω αργότερα).

Από την άλλη μεριά, το σκεπτικό των δημιουργών των μηχανισμών στήριξης είναι ότι μέσα από την εφαρμογή των τεχνολογιών που στηρίζονται και τις επενδύσεις που υλοποιούνται σε ΑΠΕ λόγω των ευνοϊκών προϋποθέσεων που δημιουργούνται, σταδιακά θα μειώνεται το επενδυτικό κόστος αλλά και ο επιχειρηματικός κίνδυνος. Έτσι τελικά θα μπορέσουν να είναι χειραφετημένες και ανταγωνιστικές από μόνες τους όπως είναι πλέον οι υδροηλεκτρικές τεχνολογίες που λειτουργούν πλήρως ανταγωνιστικά και δίχως στήριξη. Αυτό θα συμβεί, διότι μέσα από την μαζική παραγωγή και την αλματώδη αύξηση των εγκατεστημένων ισχύων που επιτελείται σε τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκή και η αιολική ενέργεια θα επιτευχθούν οικονομίες κλίμακος με αποτέλεσμα να μειωθεί αισθητά το ανα μονάδα κόστος κάθε εγκατεστημένου MW κάθε τεχνολογίας.

Παράλληλα, με την αυξημένη εφαρμογή των τεχνολογιών, δίνεται επιπλέον κίνητρο στους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να βελτιώσουν τους συντελεστές απόδοσης των εγκαταστάσεων τους ώστε να παράγουν περισσότερο επομένως να κερδοφορήσουν περισσότερο. Έτσι, βελτιώνεται η αποδοτικότητα και η αξιοπιστία των τεχνολογιών μειώνοντας περαιτέρω τόσο τον επιχειρηματικό κίνδυνο. Αυτή η διαδικασία είναι ευρέως γνωστή ως Learning Curve Effect. Τελικά λοιπόν, οι τεχνολογίες θα είναι πλέον ανταγωνιστικές και, ενώ τα χρήματα θα έχουν δοθεί, οι τεχνολογίες θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται πλέον από μόνες τους και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα έχουν έρθει για να μείνουν. Το ενεργειακό μείγμα θα έχει αλλάξει και οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής θα έχουν αντικατασταθεί οριστικά από 'Πράσινες Μεθόδους Παραγωγής'.

Ωστόσο, οι επικριτές σχολάζουν ότι ο εάν μέρος του όγκου των χρηματοδοτήσεων των μηχανισμών υποστήριξης είχε επενδυθεί σε ερευνά και ανάπτυξη (R&D) μέσω πανεπιστημιακών και άλλων τεχνολογικών ιδρυμάτων η ανάπτυξη των τεχνολογιών θα ήταν ταχύτερη. Παράλληλα, κατακρίνουν και το cost-efficiency των μηχανισμών στήριξης. Cost efficiency είναι ουσιαστικά στη προκείμενη περίπτωση το περιβαλλοντικό, και όχι μόνο, όφελος της διείδυσης των ΑΠΕ στην αγορά ενέργειας προς το κόστος που πληρώνεται για την επίτευξη του σε σχέση με άλλες εναλλακτικές προτάσεις με αντιστοιχία οφέλη.

Επίσης, ενώ για καιρό η συζήτηση περιστρέφονταν γύρω από την πλευρά της ζήτησης, ένα διαφορετικό ζήτημα εγείρεται προκαλώντας έντονες ανησυχίες. Η αιολική διείδυση έχει προκαλέσει εκτός από μείωση στις τιμές χονδρικές και έντονη αύξηση στην μεταβλητότητα αλλά και την στοχαστικότητα των τιμών. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σοβαρά ζητήματα στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας που προσπαθώντας να βελτιστοποιήσουν την θέση τους και τις επενδύσεις τους αξιολογούν πλέον διαφορετικά την στρατηγική λειτουργίας τους, ενώ νέες επενδύσεις για την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων συμβατικής παραγωγής είναι ολοένα και πιο αβέβαιες. Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνεται ο επιχειρηματικός κίνδυνος με την μεταβλητότητα των τιμών ενώ παράλληλα μειώνονται τα περιθώρια κέρδους για τους συμβατικούς παραγωγούς. Αυτό ισχύει κυρίως για

παραγωγούς που καλύπτουν το φορτίο βάσης αλλά το αυξανόμενο μερίδιο αιολικών εγκαταστάσεων σταδιακά απειλεί και τους υπόλοιπους συμβατικούς παραγωγούς. Αυτό δεν θα αποτελούσε πρόβλημα, τουναντίον θα ήταν μάλλον θετικό, εφόσον η αιολική εγκατεστημένη ισχύς μπορούσε να υποκαταστήσει με την συμβατική εγκατεστημένη ισχύ σε υψηλό ποσοστό (capacity credit), δίχως να απειλείται η ασφάλεια της παραγωγής και τροφοδοσίας του συστήματος. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό σύμφωνα με τον παρόντα σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται.

Παράλληλα, είναι αδιαμφισβήτητο ότι η κατεύθυνση προς τις ΑΠΕ είναι σωστή ώστε να λυθεί το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα, με πρωταγωνιστή την Αιολική Ενέργεια που αποτελεί μια από τις καλύτερες λύσεις, αν όχι η καλύτερη εφαρμοζόμενη λύση, αυτή τη στιγμή. Έτσι δημιουργείται ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα, το οποίο θα αναλύσουμε ενδελεχώς.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος- Δεκέμβριος 2013. Η υλοποίηση της χωρίζεται σε επτά στάδια τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Φάση 1^η –Στη πρώτη φάση της παρούσας διπλωματικής εργασίας εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν οι σχετικές εργασίες που είναι διαθέσιμες στη βιβλιογραφία και σχετίζονται με τις επιπτώσεις που έχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, μελετήθηκαν οι θεωρητικές αλλά και εμπειρικές αναλύσεις του ζητήματος που έχουν γίνει κατά καιρούς για διάφορες χώρες.

Φάση 2^η –Στη δεύτερη φάση δόθηκε έμφαση στην ανάλυση της λειτουργίας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας πάνω στις οποίες υλοποιείται ο μηχανισμός με τον οποίο επιδρούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας των αγορών. Επίσης, στη φάση αυτή έγινε ενδελεχής ανάλυση των υπάρχοντων μηχανισμών στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκριτική μελέτη μεταξύ τους. Ακόμα, διερευνήθηκε σε ποιες Ευρωπαϊκές χώρες εφαρμόζεται ο κάθε μηχανισμός στήριξης και με ποια χαρακτηριστικά. Τέλος, αναλύθηκαν οι ιδιαιτερότητες των κυριότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα αυτής της φάσης της εργασίας επικεντρώθηκε η ανάλυση στην αγορά ενέργειας της Γερμανίας και τον αντίστοιχο μηχανισμό στήριξης των ΑΠΕ αλλά και στην αιολική ενέργεια ως κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας της παρούσας ανάλυσης.

Φάση 3^η –Στη τρίτη φάση της εργασίας μελετήθηκε η εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη ενώ ιδιαίτερη εστίαση δόθηκε στα μεγέθη τόσο της αιολικής διείσδυσης αλλά και του μηχανισμού στήριξης EEG της Γερμανίας.

Φάση 4^η – Στη τέταρτη φάση υλοποιήθηκε η διερεύνηση των επιπτώσεων της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση προχώρησε σε μαθηματική μοντελοποίηση της επίπτωσης της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας με βάση την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας. Δόθηκε έμφαση σε αυτή τη φάση στην επίπτωση που έχει η αιολική διείσδυση στο επίπεδο των τιμών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Φάση 5^η – Στην πέμπτη φάση αναλύθηκε το φαινόμενο των αρνητικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζεται ως συνέπεια της έντονης αιολικής διείσδυσης στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται και πάλι στην αγορά ενέργειας της Γερμανίας όπου μελετήθηκαν τα εμπειρικά δεδομένα της εμφάνισης των αρνητικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας στο χρηματιστήριο ενέργειας. Τέλος, στη φάση αυτή έγινε η διερεύνηση της επίπτωσης που έχει η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στην μεταβλητότητα των τιμών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Συλλέχθηκαν δεδομένα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία ώστε να διαπιστωθεί το αντίκτυπο που υπάρχει και κατόπιν έγινε θεωρητική ανάλυση ώστε να ανιχνευτούν οι αιτίες της αύξησης της μεταβλητότητας των τιμών που παρατηρούνται.

Φάση 6^η – Στην έκτη φάση της εργασίας ερμηνευτήκαν τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της ανάλυσης που είχε προηγηθεί στις προηγούμενες φάσεις. Έτσι, έγιναν ορατές οι μακροπρόθεσμες συνέπειες που δημιουργούνται με την έντονη ενσωμάτωση διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό έγινε ανάλυση των δυνατοτήτων που υπάρχουν για απαλοιφή των εμποδίων που παρουσιάζονται μπροστά στην περαιτέρω εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Φάση 7^η – Στην έβδομη και τελευταία φάση έγινε μια καταγραφή των συμπερασμάτων που εξαγονται από την παραπάνω μελέτη που εκπονήθηκε, αλλά και παρουσίαση των προοπτικών που διαβλέπονται μέσα από την ολοκλήρωση και βελτίωση αυτής.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζει τα εξής δέκα κεφάλαια:

- Στο Κεφάλαιο 1^ο, που είναι το εισαγωγικό κεφάλαιο, περιλαμβάνεται ο σκοπός της παρούσας εργασίας, οι φάσεις υλοποίησης της καθώς και η δομή της.
- Στο Κεφάλαιο 2^ο παρουσιάζονται συνοπτικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επισημαίνοντας κάποια χαρακτηριστικά της καθεμίας πηγής που σχετίζεται με την ανάλυση μας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη παρουσίαση της αιολικής ενέργειας καθώς είναι η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που κυρίως θα μας απασχολήσει. Κατόπιν, γίνεται παρουσίαση για τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη και μειονεκτήματα που έχει η αιολική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και αναλύεται η σημαντικότητα και η

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

σοβαρότητα αυτών. Ύστερα, αναλύονται εν συντομία τα τεχνικά προβλήματα άλλα και ορισμένες δυνατότητες που σχετίζονται με την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Μελετώνται τα προβλήματα που σχετίζονται με τις διαφορετικές μορφές μεταβολών της τάσης του δικτύου που προκύπτουν με της αιολική διείσδυση καθώς και με τα ζητήματα σε σχέση με την συχνότητα του δικτύου. Θα γίνει αναφορά για τις διαφορετικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται για την παραγωγή αιολικής ενέργειας, καθώς και για τις επιπτώσεις που έχουν αυτές οι τεχνολογίες στα τεχνικά ζητήματα στα οποία αναφερόμαστε.

- Στο Κεφάλαιο 3^ο γίνεται μια ανάλυση της δομής μιας τυπικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα ως μελέτη περίπτωσης υιοθετείται η Γερμανία. Έπειτα, υλοποιείται ιστορική αναδρομή της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας της Γερμανίας άλλα και ειδικότερα αναλύεται ενδελεχώς το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και την χρηματιστηριακής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας. Επίσης, θα αναλύονται και οι λειτουργοί του χρηματιστηρίου ενέργειας της Γερμανίας και η εξέλιξη τους. Τέλος, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί διασυνδέσεις μεταξύ των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και οι βασικότεροι μηχανισμοί στήριξης των ΑΠΕ. Αναλύονται οι ιδιαιτερότητες του κάθε μηχανισμού στήριξης των ΑΠΕ, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνονται στον μηχανισμό σταθερών πληρωμών (Feed in Tariffs), οποίος θεωρείται ο πιο επιτυχημένος για την προώθηση και ανάπτυξη των ΑΠΕ.
- Στο Κεφάλαιο 4^ο γίνεται μια παρουσίαση της ανάπτυξης της αιολικής διείσδυσης στην Γερμανία, παραθέτοντας τα στοιχεία για το 2012, ώστε να γίνει σαφές στον αναγνώστη τόσο το επίπεδο της παραγόμενης αιολικής ενέργειας όσο και της δυναμικότητας της εγκατεστημένης ισχύος της αιολικής παραγωγής. Επίσης, γίνεται πιο εξειδικευμένη αναφορά στο σύστημα σταθερών πληρωμών της Γερμανίας, παρουσιάζοντας τα ποσοτικοποιημένα χαρακτηριστικά του μηχανισμού στήριξης EEG της Γερμανίας.
- Στο Κεφάλαιο 5^ο αναλύεται ο άμεσος και κατόπιν ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο επιδρά στην οριακή τιμή του συστήματος η διείσδυση της αιολικής ενέργειας, ενώ θα επιχειρηθεί η μοντελοποίηση και η ποσοτικοποίηση του φαινομένου. Επίσης, θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας ώστε να διαπιστωθεί το αντίκτυπο και τη σημασία των υποθέσεων που γίνονται και των αρχικοποιήσεων των διάφορων παραμέτρων. Όσον αφορά την έμμεση επίδραση της ενσωμάτωσης αιολικής ενέργειας θα γίνει ανάλυση και του European Union- Emission Trading Scheme, διότι αλληλοεπιδρά καθοριστικά με το φαινόμενο που αναλύεται. Όμως για κάθε μια από τις δυο περιπτώσεις, θα μελετηθεί η συνολική επίπτωση που έχει η αιολική διείσδυση, υποστηριζόμενη από τους μηχανισμούς στήριξης, στις τελικές τιμές λιανικής που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Στο Κεφάλαιο 6^ο αναλύεται το φαινόμενο των αρνητικών τιμών ενέργειας. Θα εξεταστεί πως σχετίζονται οι αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας με το merit order effect, με ποια λογική δημιουργούνται και γιατί επετράπησαν.
- Στο Κεφάλαιο 7^ο αναλύονται οι επιπτώσεις που προκαλούνται με μεγάλους βαθμούς διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στην μεταβλητότητα των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλύονται οι αιτίες λόγω των οποίων αυξάνεται η διακύμανση των τιμών γύρω από τη μέση οριακή τιμή του συστήματος, αλλά κυρίως τις προβλήματα που δημιουργεί η αυξημένη μεταβλητότητα των τιμών τόσο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στους επιχειρηματικούς παίκτες που συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στο Κεφάλαιο 8^ο διερευνώνται οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις που δημιουργούνται σε όλες τις επιμέρους συνιστώσες που συναποτελούν το σύστημα και την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με την έντονη διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Η ανάλυση αυτή θα γίνει προφανώς με βάση το παρόν σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και τους μηχανισμούς που το διέπουν και όχι ενδεχόμενες μεταβολές που μπορεί να επιβληθούν στο μέλλον. Έτσι, θα εντοπιστούν τα προβλήματα που δημιουργούνται ιδίως στην πλευρά της προσφοράς μακροπρόθεσμα και αποτελούν τροχοπέδη για περαιτέρω υψηλότερους βαθμούς διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στο Κεφάλαιο 9^ο προτείνονται λύσεις που μπορούν βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα να αναχαιτίσουν τα διάφορα ζητήματα που εγείρονται με την καλπάζουσα ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στο Κεφάλαιο 10^ο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος, παρουσιάζονται οι προοπτικές που υπάρχουν για την περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξη της ανάλυσης.

*Κεφάλαιο 2^ο: Πλεονεκτήματα &
Μειονεκτήματα Αιολικής
Ενέργειας*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Αρχικά θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κατόπιν θα εστιαστεί η μελέτη στην αιολική ενέργεια. Για την αιολική ενέργεια, τα πλεονεκτήματα εστιάζονται στην αφθονία της στη φύση, στην γενικότερη οικονομική ανάπτυξη που μπορεί να δώσει σε εθνικό και τοπικό επίπεδο, αλλά προπάντων στο θετικό αντίκτυπο, που έχουν απέναντι στο περιβάλλον. Τα μειονεκτήματα εστιάζονται κυρίως σε τα οικονομικής, τεχνικής αλλά και περιβαλλοντικής φύσεως ζητήματα. Τα τελευταία ωστόσο, όπως έχει παρατηρηθεί, με την κατάλληλη μελέτη και προεργασία για την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων είτε εξαφανίζονται πλήρως είτε περιορίζονται στο ελάχιστο.

2.1 Περιγραφή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

2.1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας με αυξημένες προσδοκίες, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η οποία διαθέτει αρκετά υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας. Με την ηλιακή ενέργεια εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία εκτιμάται σε

$1,1 \cdot 10^{29}$ mj ετησίως, από τα οποία όμως μόνο $5,4 \cdot 10^{18}$ mj φθάνουν στη γη και από τα οποία βέβαια πολύ λιγότερη ενέργεια αξιοποιείται.

Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου για τη θέρμανση και ψύξη της κτηριακής υποδομής αλλά και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται σήμερα με τους εξής τρόπους:

- A1) Παθητικά ηλιακά συστήματα
- A2) Ενεργητικά ηλιακά συστήματα
- A3) Φωτοβολταϊκά συστήματα

2.1.2 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμία είναι η θερμότητα, η οποία εμπεριέχεται στα πετρώματα της γης, τους υπόγειους υδροφορείς και στα αέρια, τα οποία βρίσκονται εγκλωβισμένα σε κοιλότητες στο εσωτερικό της γης. Γνωστές πηγές, από τις οποίες παράγεται γεωθερμική ενέργεια, είναι οι πηγές geysers, οι οποίες αφθονούν στην Ισλανδία αλλά και σε άλλες περιοχές της γης.

Θεωρείται ότι παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων, όπως είναι το ουράνιο, το θόριο και το κάλιο και εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της γης εξαιτίας του συνδυασμού της

μεγάλης μάζας της γης με τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων. Η συσσωρευμένη θερμότητα εξέρχεται στην επιφάνεια της γης μέσω γεωλογικών φαινομένων, όπως οι ηφαιστειακές εκροές και οι γεωλογικές ασυνέχειες και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.

Είναι μια ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί με βάση τις σημερινές τεχνολογίες, να καλύψει ενεργειακές ανάγκες

2.1.3 Ενέργεια από Βιομάζα

Η βιομάζα περιλαμβάνει το σύνολο των υλικών, που έχουν ζωική ή φυτική προέλευση, όπως φυτικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα (π.χ. δάση) ή από ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες προορίζονται για παραγωγή ενέργειας, τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της δασικής, αγροτικής (γεωργία, κτηνοτροφία) και αλιευτικής παραγωγής, αλλά και το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η ενέργεια της βιομάζας είναι αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτών, κατά την οποία δεσμεύεται η ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπεται σε χημική ενέργεια και στη συνέχεια αποταμιεύεται στις νεογέννητες οργανικές ουσίες και μέσα στους ιστούς των φυτών.

Η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα, η οποία απελευθερώνεται κατά την καύση της βιομάζας, έχει ήδη δεσμευτεί από την ατμόσφαιρα για τη δημιουργία της, οπότε, η καύση της βιομάζας έχει μηδενική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

2.1.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μετατροπή της ενέργειας, η οποία δημιουργείται από υδατοπτώσεις, με χρήση υδραυλικών τουρμπινών.

Τοποθετούνται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές δίπλα σε ποτάμια και κανάλια με στόχο την εξασφάλιση σημαντικής υψομετρικής διαφοράς. Το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα και περνώντας μέσα από τούνελ περιστρέφει τουρμπίνες δημιουργώντας μηχανική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται μέσω ηλεκτρογεννήτριας σε ηλεκτρική.

2.1.5 Ενέργεια από τη Θάλασσα

Η θάλασσα περιέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας, των οποίων η εκμετάλλευση μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους. Από αυτούς οι σημαντικότεροι είναι τρεις: ι) εκμετάλλευση των παλιρροιών, ιι) ενέργεια των κυμάτων και ιιι) ενέργεια των ωκεανών.

2.1.6 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία δημιουργείται από τη διαρκή κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος περιβάλλει τη γη, εξαιτίας μιας σειράς παραμέτρων οι οποίες είναι:

- Η ηλιακή ακτινοβολία
- Η ανομοιογένεια του ανάγλυφου του εδάφους
- Η περιστροφική κίνηση της γης γύρω από τον άξονά της.

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργεί δηλαδή τους ανέμους.

Ο άνεμος είναι δυνατό να περιστρέφει ανεμοτροχούς, να προωθεί ιστιοφόρα πλοία ή να κινεί αντικείμενα, μπορεί δηλαδή η ενέργεια του να καταστεί εκμεταλλεύσιμη. Η πηγή αυτής της ενέργειας είναι πρακτικά ανεξάντλητη, ανανεούμενη συνεχώς, γι' αυτό και ονομάζεται ανανεώσιμη.

Εάν υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ενέργεια από τον άνεμο θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Δυστυχώς, εκτιμάται πως μόνο ένα ποσοστό μεταξύ 1,5% έως 2,5% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπεται: σε κινητική ενέργεια αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα.

Από θερμοδυναμικής απόψεως, η ενέργεια αυτή είναι υψηλής ποιότητας και γι' αυτόν τον λόγο προσφέρεται ιδιαίτερα για μετατροπή σε ηλεκτρική ή χρήσιμη μηχανική ενέργεια. Αυτό δεν αποκλείει βέβαια τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί και για άλλες χρήσεις, όπως η προστασία θερμοκηπίων από τον παγετό κ.λπ.

Ακόμη, υπολογίζεται ότι το 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ταχύτητας πάνω από 5,1 μέτρα το δευτερόλεπτο, σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος. Όταν σε μία περιοχή οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

Για πολλές εκατοντάδες χρόνια, η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στην δύναμη του ανέμου, ενώ γινόταν εκτεταμένη χρήση του ανεμόμυλου, ως κινητήριας μηχανής, κυρίως στον αγροτικό τομέα. Η χρήση της όμως άρχισε να ατονεί περίπου στις αρχές του αιώνα, λόγω της εμφάνισης “άφθονων” και φθηνών ορυκτών καυσίμων.

Αργότερα, το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εκδηλώθηκε έντονα περί τα μέσα της δεκαετίας του '70 και ήταν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης, που είχε εν τω μεταξύ ξεσπάσει. Από τότε, μέχρι σήμερα υπάρχει μία συνεχώς αυξανόμενη τάση για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου. Στη σημερινή εποχή η αιολική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις, τις ανεμογεννήτριες. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται αρχικά σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική, μέσω των ανεμογεννητριών.

Έτσι, η τεχνολογία των ανεμογεννητριών παρουσίασε μεγάλη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια με αντίστοιχη μείωση του κόστους παραγωγής της παραγόμενης ενέργειας. Σήμερα το εμπορικό μέγεθος των ανεμογεννητριών, δηλαδή το μέγεθος, το οποίο παρουσιάζει την βέλτιστη σχέση κόστους οφέλους, κυμαίνεται μεταξύ 0,6 και 1,5 MW . Όμως σε στάδιο δοκιμών λειτουργούν ανεμογεννήτριες μέχρι 3 MW και σχεδιάζονται και μέχρι 5 MW. Μείωση του κόστους επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών στην ίδια θέση, οπότε σχηματίζονται αιολικά πάρκα, συνήθως συνολικής ισχύος μέχρι 40 MW.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι η παραγόμενη ισχύς από μια ανεμογεννήτρια αυξάνει με τον κύβο σχεδόν της ταχύτητας του ανέμου και συνεπώς η κατάλληλη επιλογή της θέσεως εγκαταστάσεως είναι βασικής σημασίας για την αποδοτικότητα της επένδυσης. Βασικής σημασίας για την αποδοτικότητα της επένδυσης όσο και για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, είναι η κατάλληλη επιλογή της θέσεως και η όλη σχεδίαση του έργου

2.2 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

2.2.1 Περιβαλλοντικά Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Είναι άφθονες στη φύση και διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

Είναι ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η αυξημένη ενεργειακή εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα κάθε χώρας οδηγεί σε μεσοπρόθεσμες διακυμάνσεις στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί ίσως τον κυριότερο παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια, πράγμα που οδηγεί σε υπερβολική αβεβαιότητα τον αντίστοιχο σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας (η διείσδυση αιολικής ενέργειας αυξάνει επίσης τη διακύμανση των τιμών όπως θα δούμε παρακάτω).

Ακόμη, αποτελούν την καλύτερη, μακράν, περιβαλλοντική λύση γιατί δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου, ενώ υποκαθιστούν ορυκτά καύσιμα, τα οποία ρυπαίνουν κατά την εξόρυξη, άντληση, μεταφορά αποθήκευση και καύση τους. Έτσι, μειώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία προκαλείται από την χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έδειξαν ότι μία σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και κυρίως με αιολικά πάρκα, που βρίσκονται ήδη στο στάδιο σχεδιασμού ή υλοποίησης, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11%, και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα [Ackermann, Soder 2002] ανάλογα με το μέγεθος των μηχανών και το αιολικό δυναμικό εξοικονομούνται τα ποσά που φαίνονται στον πίνακα 1.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Comparison of energy amortisation time and emissions of various energy technologies. All figures include direct and indirect emissions based on average German energy mix, technology efficiency and lifetime. PV is based on average German solar radiation. The last column also includes methane emissions, based on CO₂-equivalent. N.A.=not considered in the relevant studies

Technology	Energy pay back time in months ^a	SO ₂ in kg/GWh ^a	NO _x in kg/GWh ^a	CO ₂ in t/GWh ^a	CO ₂ and CO ₂ equivalent for methane in t/GWh ^b
Coal Fired (pit)	1.0–1.1	630–1370	630–1560	830–920	1240
Nuclear	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	28–54
Gas (CCGT)	0.4	45–140	650–810	370–420	450
Large Hydro	5–6	18–21	34–40	7–8	5
Microhydro	9–11	38–46	71–86	16–20	N. A.
Smallhydro	8–9	24–29	46–56	10–12	2
Windturbine:					
4.5 m/s	6–20	18–32	26–43	19–34	N.A.
5.5 m/s	4–13	13–20	18–27	13–22	N.A.
6.5 m/s	2–8	10–16	14–22	10–17	11
Photovoltaic:					
Mono-cystalline	72– 93	230–295	270–340	200–260	N.A.
Multi-cystalline	58–74	260–330	250–310	190–250	228
Amorphous	51–66	135–175	160–200	170–220	N.A.
Geothermal	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	50–70
Tidal	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2

Πίνακας 1 : Ενεργειακή απόσβεση & εκπομπές καυσαερίων διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

2.2.2 Κοινωνικά Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Σε αντίθεση όμως με ότι συμβαίνει με τη χρήση των συμβατικών καυσίμων, το εξωτερικό και κοινωνικό κόστος της αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Επίσης, η διάλυση και απομάκρυνση πεπαλαιωμένων αιολικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής δεν συνοδεύεται από κόστη αποκατάστασης της περιοχής, δεδομένου ότι δεν συνοδεύεται από οικολογικές επιπτώσεις, όπως στην περίπτωση των θερμικών ή πυρηνικών σταθμών.

Δημιουργούνται θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο, συντελώντας στην ανάπτυξη σε τοπικό επίπεδο. Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Έτσι π.χ., για μία εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων 50 MW, απαιτούνται 600-900 ανθρωπομήνες απασχόλησης στη φάση κατασκευής τους. Το 30-40 % αυτής της απασχόλησης προέρχεται από το ντόπιο εργατικό δυναμικό, 13-16 μόνιμοι εργαζόμενοι στη φάση λειτουργίας τους, οι περισσότεροι από τους οποίους (50-100%) είναι ντόπιοι. Η συμβολή των αιολικών πάρκων στην απασχόληση, τόσο την τοπική όσο και αυτήν σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής /

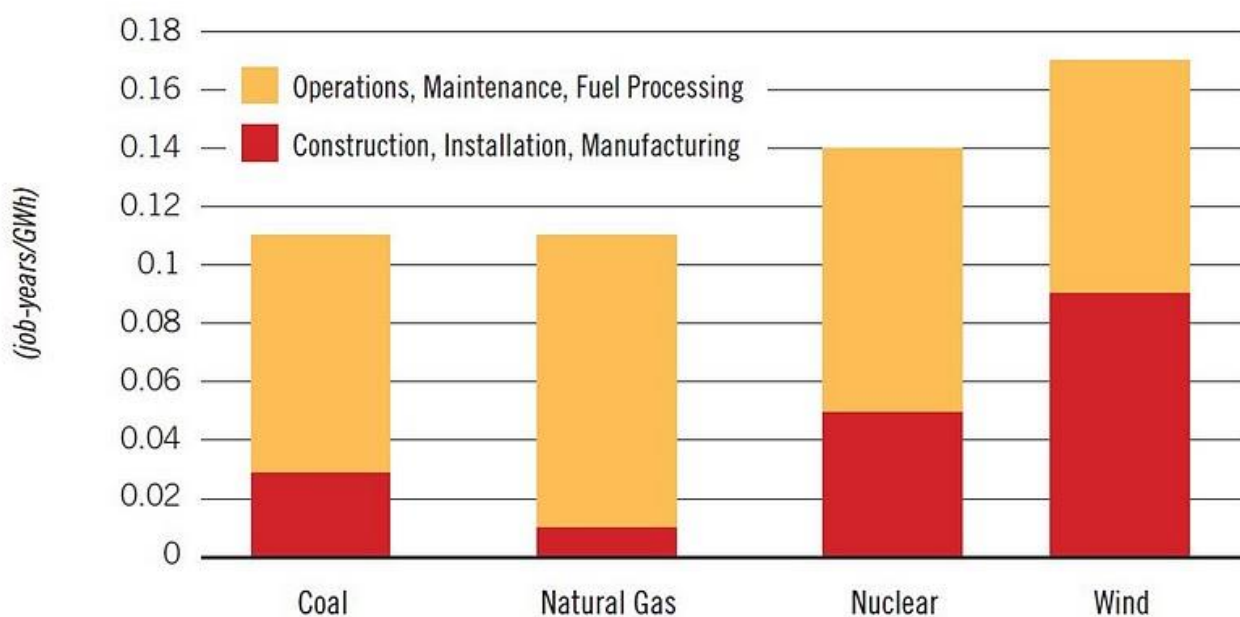
Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

συναρμολόγησης μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως είναι οι πυλώνες των ανεμογεννητριών, οι μετασχηματιστές, οι πίνακες ελέγχου, κ.α.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι για κάθε 1 MW αιολικής ενέργειας δημιουργείται 0.5-1 μόνιμη θέση, η οποία αφορά τη λειτουργία και διαχείριση του αιολικού πάρκου. (Greenpeace 1999, Περιστέρης 2001), ενώ για κάθε μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος σε ένα ανθρακικό σταθμό, δημιουργούνται 0.2 μόνιμες θέσεις εργασίας, δηλαδή έως και 5 φορές λιγότερες των αιολικών

Το παρακάτω Σχ.1 δείχνει μια διαφορετική μελέτη που δείχνει τις θέσεις εργασίας ανα έτος, που δημιουργούνται με την εγκατάσταση και τη λειτουργία κάθε GWh αιολικής ενέργειας, σε σύγκριση μάλιστα με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Average Total Employment for Different Energy Technologies



Source: Wei, Patadia and Kammen 2009 (University of California, Berkeley)

Σχ.1 : Δυνατότητες εργασιακής απασχόλησης για τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

2.3 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

2.3.1 Περιβαλλοντικά Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Αρχικά, πρέπει να τονιστεί ότι η κατασκευή και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου δεν επιφέρει αισθητές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης. Ας δούμε, όμως, αναλυτικότερα το θέμα αυτό.

Πέντε (5) είναι, κυρίως, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τοπικής κλίμακας, που αναφέρονται (εικάζονται τις περισσότερες φορές) ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης και λειτουργίας αιολικών πάρκων εμπορικής κλίμακας : α)η οπτική όχληση, β)η κατασκευαστική επέμβαση / αλλοίωση του χαρακτήρα και της λειτουργίας μιας περιοχής (π.χ. μιας δασικής έκτασης), γ)ο θόρυβος, δ)οι τηλεπικοινωνίες και ε)η ασφάλεια του προσωπικού, το οποίο εργάζεται στις ανεμογεννήτριες.

Παρακάτω γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση κάθε μιας από τις πέντε αυτές, εν δυνάμει, επιπτώσεις των αιολικών πάρκων.

α) Οπτική όχληση

Κατ' αρχήν, είναι σαφές ότι η αισθητική μιας εγκατάστασης αιολικού πάρκου αποτελεί καθαρά υποκειμενικό παράγοντα, ο οποίος εξαρτάται, όπως δείχνουν σχετικές μελέτες, όχι τόσο από την ίδια την εικόνα της εγκατάστασης, όσο από τη γενικότερη εικόνα που έχει διαμορφώσει ο παρατηρητής για τη χρήση της (π.χ. ως οικολογική πηγή ενέργειας, ως πηγή τοπικών αναπτυξιακών οφελών, κλπ.).

Έτσι, σημαντικό παράγοντα για την ενσωμάτωση των α/γ σ' ένα τοπίο είναι η κατάρτιση ειδικών μελετών, με τις οποίες θα ενσωματώνονται οι α/γ σε κάθε συγκεκριμένο τοπίο. Ήδη υπάρχει συσσωρευμένη εμπειρία και πολλά θετικά παραδείγματα σε όλον τον κόσμο. Ακόμη, οι υπέρμαχοι της αιολικής ενέργειας αναφέρουν ότι σε σύγκριση με έναν πετρελαϊκό ή λιγνιτικό σταθμό τα αιολικά πάρκα υπερτερούν αισθητικά.

Ακόμη, αναφέρουν ότι τα πρώτα αισθητικά προβλήματα, τα οποία εμφανίστηκαν στις πρώτες εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα οφείλονται στην γραφειοκρατική ακαμψία δημοσίων αρχών, οι οποίες επέβαλλαν τον χρωματισμό των α/γ με κόκκινες και άσπρες ρίγες. Μεγαλύτερα προβλήματα από οπτικής απόψεως συνήθως δημιουργεί η ενσωμάτωση σ' ένα περιβάλλον των βοηθητικών χώρων των αιολικών πάρκων (κολώνες, μικρές κτηριακές εγκαταστάσεις) παρά η ενσωμάτωση των ίδιων των α/γ.

Ακόμη, πρέπει να τονιστεί ότι ένα αιολικό πάρκο δεν εμποδίζει τη θέα. Η αρκετά μεγάλη απόστασή του από κατοικημένες περιοχές (ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση από οικισμό : 500 m), σε συνδυασμό με τις σημαντικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ του έργου και των γύρω οικισμών (εάν υπάρχουν), καθώς και η αραιή χωροθέτηση των α/γ σε απλές σειρές, περιορίζουν στο ελάχιστο την οπτική όχληση των κατοίκων.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Παράλληλα, οι περιορισμένες χρήσεις γης στην περιοχή ελαχιστοποιούν τις ευκαιρίες οπτικής επαφής με την εγκατάσταση, από κοντινές αποστάσεις. Μόνο οι τυχόν γεωργοί και κτηνοτρόφοι της περιοχής βλέπουν τις α/γ συχνότερα, χωρίς όμως να εμποδίζονται οι δραστηριότητές τους.

Τέλος, σημειώνεται ότι τόσο το λευκό χρώμα των πτερυγίων, όσο και η κατασκευή ολόσωμων (σωληνωτών) πύργων στήριξης των α/γ, συντελούν στην καλύτερη εναρμόνισή τους με τον περιβάλλοντα χώρο.

β) Επίδραση στο χαρακτήρα και τη λειτουργία της περιοχής εγκατάστασης

Και στο θέμα αυτό, θα πρέπει να σημειώσει κανείς την απουσία έγκυρης και συγκροτημένης ενημέρωσης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόσφορο έδαφος για παραπληροφόρηση και υπερβολικές αντιδράσεις: θα «ξυριστούν» βουνά με δασικές εκτάσεις για την κατασκευή αιολικών πάρκων, θα υποβαθμιστεί η τουριστική ανάπτυξη ή η ανάπτυξη δραστηριοτήτων αναψυχής στις αντίστοιχες περιοχές, θα καταστραφεί η χλωρίδα και η πανίδα τους, κ.ο.κ.

Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων. Σπανιότερα, στις θέσεις αυτές εντοπίζονται ίχνη εγκαταλελειμμένων καλλιεργειών μικρής απόδοσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι ένα τυπικό αιολικό πάρκο των 10MW καλύπτει ωφέλιμη επιφάνεια μόνο 2 στρεμμάτων περίπου, αφού κάθε ανεμογεννήτρια απαιτεί για τη θεμελίωσή της μόνο 130150 τετραγωνικά μέτρα. Οπότε η γη μπορεί να χρησιμοποιείται από τους αγρότες όπως και πριν από την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.

Τέλος, όσον αφορά την πανίδα μιας περιοχής, είναι γνωστό από πλήθος σχετικών μελετών, ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων έχει από πολύ μικρές έως αμελητέες επιπτώσεις στους τοπικούς πληθυσμούς θηλαστικών, ερπετών και πτηνών.

Μελέτες οι οποίες έγιναν στην Γερμανία, την Ολλανδία, τη Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι αιολικές μηχανές δεν αποτελούν απειλή για τα πτηνά, δεδομένου ότι η θνησιμότητά τους, η οφειλόμενη σε αυτές, αποτελεί ένα μικρό μόνο κλάσμα της συνολικής τους θνησιμότητας.

Ειδικά σε ανεμογεννήτριες με ύψος κάτω των 50 μέτρων ελάχιστα πτηνά έχουν βρεθεί νεκρά. Μόνο μεμονωμένα προβλήματα έχουν αναφερθεί, όπως αυτό του αιολικού πάρκου της Tarifa στην Ισπανία, κοντά στα στενά του Γιβραλτάρ, το οποίο παρεμβάλλεται σε μία από τις διαδρομές των αποδημητικών.

Προσοχή απαιτείται σε μηχανές οι οποίες τοποθετούνται σε παράκτιες περιοχές, όπου μπορεί να ενοχλήσουν την ανάπτυξη και τις φωλιές ορισμένων πτηνών. Ακόμη, χρήζει προσοχής η ανάπτυξη αιολικών πάρκων σε θαλάσσιες περιοχές, οι οποίες αποτελούν περάσματα αποδημητικών πτηνών. Άλλωστε, οι αυστηροί περιορισμοί που έχουν θεσπιστεί

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

τα τελευταία χρόνια για την εγκατάσταση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές (π.χ. ζώνες NATURA) αποτελούν ήδη μία πολύ σημαντική ασπίδα προστασίας των περιοχών αυτών.

Στον παρακάτω πίνακα αποδεικνύεται ότι ο αντίκτυπος στα πτηνά από τις α/γ είναι μικρότερος σε σχέση με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.

ΑΙΤΙΑ	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΤΗΣΙΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΝΕΚΡΩΝ ΠΤΗΝΩΝ
Κτήρια/Παράθυρα	550*10 ⁶
Υψηλής έντασης ηλεκτροφόρα καλώδια	130*10 ⁶
Γάτες	100*10 ⁶
Αυτοκίνητα	80000000
Εντομοκτόνα	67000000
Πύργοι τηλεπικοινωνιών	4500000
Α/Γ	28500
Αεροπλάνα	25000

Πίνακας 2 : Αιτίες θνησιμότητας πτηνών

γ) Θόρυβος

Ο θόρυβος, ο οποίος παράγεται από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών εξαρτάται σε δύο λόγους: α) πρώτα από το επίπεδο των ακουστικών εκπομπών λόγω της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και β) από την απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών και των κοντινότερων κατοίκων.

Οι ακουστικές εκπομπές των ανεμογεννητριών μπορούν να διαχωριστούν στο μηχανικό και στο αεροδυναμικό κομμάτι. Αναλύσεις αυτών των πηγών έχουν δείξει ότι οι μικρότερες ανεμογεννήτριες, με διάμετρο ρότορα μέχρι 20μέτρα, τα μηχανικά μέρη είναι ο σημαντικότερος παράγοντας δημιουργίας θορύβων, ενώ για τις μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες τα αεροδυναμικά μέρη δημιουργούν τους περισσότερους θορύβους.

Η δεύτερη σημαντική παράμετρος για τα επιτρεπόμενα μεγέθη εκπεμπόμενων θορύβων είναι ποιο επίπεδο θορύβου πρέπει να είναι αποδεκτό για τη λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συγκεκριμένα στην Ολλανδία, υπάρχει ένας ειδικός νόμος, ο οποίος παρέχει πρόληψη από την απειλή του θορύβου των ανεμογεννητριών. Με αυτόν τον νόμο οι απαιτήσεις είναι πολύ αυστηρές επιτρέποντας τα μέγιστα επίπεδα θορύβου να ανέρχονται στα επίπεδα των 40db κοντά στα σπίτια, όταν η ταχύτητα του ανέμου ανέρχεται στα 5-7m/s. Η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντική, γιατί και για το επίπεδο των εκπεμπόμενων θορύβων λόγω της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και για το επίπεδο των περιβαλλοντικών θορύβων ποικίλλουν ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα μεταξύ 5-7m/s έχει επιλεγεί γιατί στην Ολλανδία τέτοια ταχύτητα ανέμου θεωρείται ότι είναι αυτή στην οποία ο θόρυβος της ανεμογεννήτριας είναι ανεπαίσθητος.

Όταν τα επίπεδα εκπομπής θορύβου και τα αποδεκτά επίπεδα θορύβου είναι γνωστά, είναι πολύ εύκολο να υπολογιστεί η απόσταση, η οποία πρέπει να υπάρχει μεταξύ των κοντινότερων κατοικιών και των ανεμογεννητριών. Πρόσφατες μελέτες έχουν ωστόσο δείξει ότι σημαντικό στοιχείο το οποίο επηρεάζει την απόσταση αυτή είναι και ο αριθμός των ανεμογεννητριών και οι αποστάσεις μεταξύ τους.

Πάντως έχει διαπιστωθεί ότι η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου δεν αυξάνει, σε αισθητό βαθμό, τα επίπεδα θορύβου της εγγύτερης περιοχής. Οι σύγχρονες α/γ προκαλούν θόρυβο ύψους 44 περίπου db σε απόσταση 200m, στα υπήνεμα της α/γ, για ταχύτητα ανέμου στα 8 m/s. Πρέπει να σημειωθεί ότι για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 8 m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις α/γ καλύπτεται από το θόρυβο, που παράγεται από το περιβάλλον.

Το συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου που αναφέρθηκε (44 db) αντιστοιχεί σε αυτό μιας ήσυχης μικρής πόλης, και δεν αποτελεί βέβαια πηγή όχλησης. Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των α/γ από γειτονικούς οικισμούς (500m), το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30-35 db, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού ή ψιθύρου, και που καλύπτεται πλήρως από φυσικές και τεχνικές πηγές θορύβου εγγύτερες προς τους οικισμούς.

Επίσης πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι:

Ο θόρυβος ως γνωστόν ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση.

Έτσι σε απόσταση μερικών διαμέτρων του στροφέα της α/γ, ο θόρυβος πλέον καλύπτεται από του υπόλοιπους ήχους του περιβάλλοντος. Κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση από μια α/γ, μειώνεται ο θόρυβος κατά 6 db δηλαδή ακούγεται 2 φορές πιο σιγά. Η ύπαρξη πολλών α/γ θα οδηγούσε σε πολύ μικρή αύξηση του θορύβου (2 ίδιες α/γ παράγουν 3 db περισσότερο θόρυβο, 4 ίδιες α/γ 6 db, 10 ίδιες α/γ 10 db περισσότερο θόρυβο).

Γενικά ο πιο εύκολος υπολογισμός του θορύβου α/γ γίνεται με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή της α/γ, την απόσταση και το είδος του περιβάλλοντος της α/γ παρά με την πειραματική μέτρηση του θορύβου. Αυτό ισχύει διότι για να μετρηθεί σωστά ο θόρυβος της Α/Γ πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 db δυνατότερος από τους υπόλοιπους ήχους του

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

περιβάλλοντος. Συνήθως σε αποστάσεις 350 m ο θόρυβος μιας υψηλής ποιότητας α/γ κυμαίνεται από 35-45 db (όσο ένα ψιθύρισμα).

Ακόμη, ο θόρυβος των α/γ σπάνια ακούγεται σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 300μέτρων ενώ ο θόρυβος που δημιουργούν τα δέντρα από τον άνεμο είναι πολύ δυνατώτερος.

Επίσης, Καναδική μελέτη έδειξε ότι δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία ότι οι ακουστικοί ή οι υποακουστικοί ήχοι που εκπέμπονται από τις α/γ έχουν κάποιο άμεσο αντίκτυπο στην υγεία.

(Wind Turbine Sound and Health Effects: An Expert Panel Review, by W. David Colby, M.D. Robert Dobie, M.D. Geoff Leventhall, Ph.D. David M. Lipscomb, Ph.D. Robert J. McCunney, M.D. Michael T. Seilo, Ph.D. Bo Sϕndergaard, M.Sc.)

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα μέσα επίπεδα θορύβου, που προκαλούνται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και είναι σε αρκετές περιπτώσεις μεγαλύτερα από το θόρυβο, που προκαλεί ένα αιολικό πάρκο.

ΑΙΤΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ

ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ DB

Αεροσκάφος jet σε απόσταση 250μ	105
Κομπρεσέρ στα 7μ	95
Βιομηχανικός θόρυβος	100
Στερεοφωνικό	90
Εσωτερικό αυτοκινήτου	80
Αυτοκίνητο με ταχ. 65χλμ/ω σε αποστ. 100μ	55
Γραφείο	60
Συζήτηση	60
Φορτηγό με ταχ. 55χλμ/ω σε αποστ. 100μ	65
Ανεμογεννήτρια	45-60
Κίνηση στη πόλη	90
Σπίτι	50
Ήσυχο Υπνοδωμάτιο	35
Ψίθυρος	20
Πτώση φύλλων	10

Πίνακας 3 : Μέσες στάθμες θορύβου σε ντεσιμπέλ για κάθε αιτία θορύβου

Ακόμη, σε έρευνα, η οποία έγινε σε 342 νοικοκυριά κοντά σε 102 αιολικά πάρκα στην Δανία, το 86% των ατόμων που ρωτήθηκαν δήλωσαν ότι δεν ενοχλούνται από τον ήχο των ανεμογεννητριών (Munksgaard, J. et al, 1996).

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Εδώ και δέκα χρόνια έχουν καταβληθεί ιδιαίτερες προσπάθειες για να κατασκευαστεί η σύγχρονη γενιά των αθόρυβων ανεμογεννητριών, με λεπτομερή σχεδιασμό του έλικα αλλά και των μηχανικών μερών. Συνεπώς, σε σωστά σχεδιασμένες ανεμογεννήτριες δεν δημιουργείται ουσιαστικό πρόβλημα θορύβου. Άλλωστε όπως αναφέραμε και παραπάνω, η τυχόν δυσφορία είναι τις περισσότερες φορές καθαρά υποκειμενικό θέμα, αφού και τα δύο φύλα και σε διάφορες ηλικίες αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο σ' αυτό το ζήτημα.

Επομένως, ο επενδυτής, ο οποίος ενδιαφέρεται να επενδύσει σ' ένα αιολικό πάρκο πρέπει όσους πιστεύουν ότι οι ανεμογεννήτριες είναι θορυβώδεις να τους ξεναγήσει σ' ένα αιολικό πάρκο, το οποίο είναι ήδη εγκατεστημένο.

Είναι, λοιπόν, φανερό, από όλα τα παραπάνω, ότι τα αιολικά πάρκα εμπορικής κλίμακας δεν προκαλούν αισθητές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον των περιοχών που εγκαθίστανται.

Το γεγονός αυτό έχει πλέον τεκμηριωθεί αναλυτικά και αδιαμφισβήτητα σε πλήθος δημοσιεύσεων, επιστημονικών εργασιών, υπομνημάτων και μελετών που έχουν εκπονήσει, την τελευταία ιδιαίτερα δεκαετία, διεθνείς οργανισμοί, πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, περιβαλλοντικές οργανώσεις, κ.α.

Αξίζει να αναφέρουμε δύο από τα πιο πρόσφατα αυτά κείμενα, τα οποία αναδεικνύουν, πέρα από κάθε αμφιβολία, τη θετική περιβαλλοντική διάσταση των αιολικών πάρκων: αφ' ενός τη μονογραφία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Δεκέμβριος 2000) με τίτλο «Environmental impacts from the use of renewable energy technologies», αφ' ετέρου το πληροφοριακό υπόμνημα της Greenpeace (Ιούνιος 2001) με τίτλο «Αιολική ενέργεια ή κλιματικές αλλαγές;».

δ) Παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες και στα σήματα μετάδοσης των τηλεοράσεων και των ραδιοφωνιών καθώς και εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών από Α/Γ

Η ανησυχία αυτή συνήθως αναφέρεται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιόφωνου και αφετέρου σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες.

Είναι γεγονός ότι, η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη.

Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανακλάσεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεΐσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε ότι η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς.

Επομένως, οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος από τον κατασκευαστή του πάρκου με μια σειρά απλών τεχνικών μέτρων, όπως π.χ. η εγκατάσταση επιπλέον αναμεταδοτών.

Σε σχέση με την συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει επίσης να αναφέρουμε, ότι σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες οι πύργοι των ανεμογεννητριών όχι μόνον δεν δημιουργούν εμπόδια, αλλά χρησιμοποιούνται ήδη για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών, όπως η κινητή τηλεφωνία.

Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι «εκπέμπουν» ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου, είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης.

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40-50 μέτρα πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε καν στη βάση της ανεμογεννήτριας.

Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση που το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο.

Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε με βεβαιότητα, ότι αυτά που ακούγονται για εκπομπή ραδιενέργειας ή ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις ανεμογεννήτριες δεν ευσταθούν.

ε) Ασφάλεια προσωπικού.

Τα ατυχήματα ανθρώπων σε αιολικά πάρκα είναι σπάνια και δεν έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα τραυματισμοί από πτερύγια μηχανών, ή λόγω πτώσης πάγου από τις μηχανές.

Οι ασφαλιστικές εταιρείες των ΗΠΑ, όπου υπάρχει μακρόχρονη εμπειρία λειτουργίας μεγάλων αιολικών πάρκων κατατάσσουν την αιολική βιομηχανία ως ιδιαίτερα ασφαλή, σε σχέση με τις λοιπές ενεργειακές βιομηχανίες.

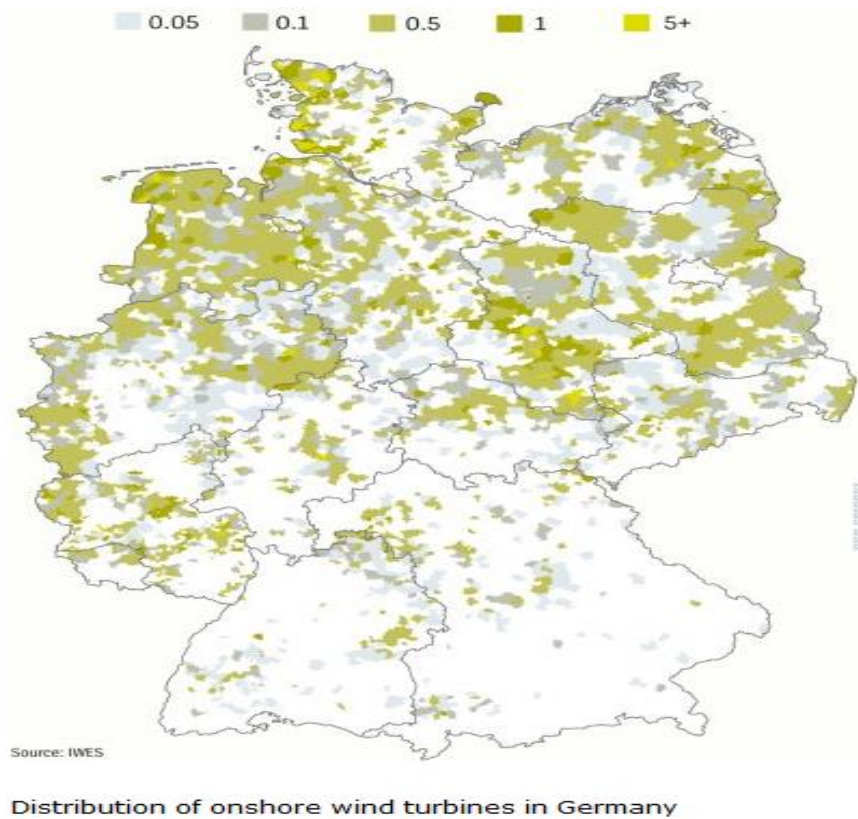
2.3.2 Τεχνικά Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Μολονότι όπως είδαμε υπάρχουν διάφορες ανησυχίες για την εγκατάσταση και χρήση αιολικών πάρκων στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν βάσιμες αποδείξεις για τις ανησυχίες αυτές.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα τεχνικής σκοπιάς που αξίζει να αναφερθούν. Στη παρούσα φάση δεν θα αναφερθούμε στην δομή της αγοράς και στον τρόπο που αλληλοεπιδρά με την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας αλλά κυρίως για τεχνικά ζητήματα που αφορούν το ηλεκτρικό δίκτυο και τις επιπλοκές που δημιουργούνται σ' αυτό. Είπαμε προηγουμένως ότι λόγω της διεσπαρμένης αιολικής παραγωγής αποκεντρώνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα να μειώνεται η συμφόρηση κοντά στις μεγάλες, συγκεντρωμένες μονάδες παραγωγής.

Όμως αυτή είναι μόνο η μια πλευρά του νομίσματος. Στη Γερμανία όπως φαίνεται και στο Σχ.2 υπάρχει έντονη συγκέντρωση των αιολικών πάρκων στο βόρειο τμήμα της χώρας. Αυτό έχει πολυσήμαντες συνέπειες για το σύστημα αιολικής ενέργειας της Γερμανίας. Το ενεργειακά πλεονάζον βόρειο κομμάτι της χώρας λόγω της αυξημένης αιολικής παραγωγής προσπαθεί να εξισορροπήσει με το νοτιότερο που υπολείπεται ενεργειακά. Ο μηχανισμός που διέπει αυτή τη διαδικασία αναλύεται παρακάτω ενδελεχώς. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται συμφόρηση σε συγκεκριμένα αδύνατα κομμάτια του δικτύου, τα λεγόμενα 'bottlenecks' .

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.2 : Γεωγραφική κατανομή αιολικών τουρμπινών στη Γερμανία

Επίσης, με την διείσδυση των αιολικών πάρκων υπάρχουν διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας που συχνά δημιουργούν προβλήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Αναλυτικότερα:

Οι ανεμογεννήτριες περιέχουν έναν από τους 2 τύπους γεννητριών:

α) τις σύγχρονες που διακρίνονται σε γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα και γεννήτριες μονίμων μαγνητών

β) τις ασύγχρονες (επαγωγικές), με δύο τύπους, αυτή με βραχυκυκλωμένο κλωβό (squirrel cage) και αυτή με δακτυλιοφόρο δρομέα (wound rotor)

Με βάση τον τρόπο λειτουργίας, οι ανεμογεννήτριες εντάσσονται σε 2 μεγάλες «οικογένειες»:

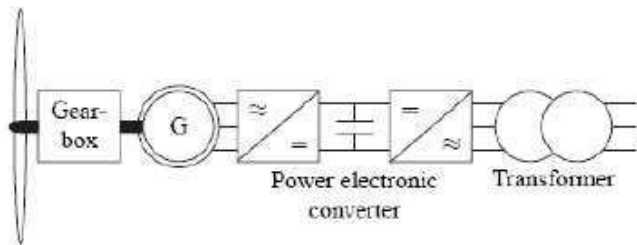
- ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed speed wind turbines)
- ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable speed wind turbines).

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας, η γεννήτρια συνδέεται άμεσα στο δίκτυο. Δεδομένου ότι η ταχύτητα καθορίζεται σχεδόν από τη συχνότητα δικτύου, άρα είναι και μη ελέγξιμη, δεν είναι δυνατό, με τις διαταραχές του αέρα, να έχουμε μεταβαλλόμενη ενέργεια. Επομένως, για ένα σύστημα σταθερής ταχύτητας, η διακύμανση του αέρα θα οδηγήσει σε διακυμάνσεις ισχύος, οι οποίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα της ισχύος στο δίκτυο. Η περιστροφική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας είναι αρκετά χαμηλή και πρέπει επομένως, να προσαρμοστεί στην ηλεκτρική συχνότητα. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: με ένα κιβώτιο ταχυτήτων ή με τον καθορισμό του αριθμού των ζευγών πόλων της γεννήτριας. Ο αριθμός ζευγών πόλων που διαθέτει κάθε μηχανή καθορίζει την επιτρεπτή μηχανική ταχύτητα της γεννήτριας, λαμβάνοντας υπόψη την ηλεκτρική συχνότητα, και το κιβώτιο ταχυτήτων προσαρμόζει την ταχύτητα του ρότορα στη μηχανική ταχύτητα της γεννήτριας.

Για ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας:

Το σύστημα στο Σχ.3 αποτελείται από μια Α/Γ εξοπλισμένη με έναν αντιστροφέα συνδεδεμένο στο στάτη της γεννήτριας. Η γεννήτρια μπορεί να είναι είτε βραχυκυκλωμένου κλωβού επαγωγική ή σύγχρονη. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε η ταχύτητα του άξονα να ανταποκρίνεται στην προσδοκώμενη, από τη γεννήτρια, ταχύτητα. Οι σύγχρονες γεννήτριες ή οι μόνιμου μαγνήτη σύγχρονες γεννήτριες μπορούν να σχεδιαστούν με πολλαπλά ζεύγη πόλων, που στην περίπτωση αυτή δεν είναι απαραίτητο να έχουμε κιβώτιο ταχυτήτων.



Σχ.3 : Σύστημα μεταβλητής ταχύτητας με σύγχρονη ή επαγωγική μηχανή

Μέσω της λειτουργίας με μεταβλητές στροφές γίνεται εφικτό να προσαρμόζεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα της ανεμογεννήτριας σε κάθε ταχύτητα ανέμου. Σε αντίθεση με τη διάταξη σταθερών στροφών, η διάταξη μεταβλητών στροφών διατηρεί τη ροπή της γεννήτριας σχεδόν σταθερή και οι διακυμάνσεις της ισχύος που προκαλούνται από μεταβολές του ανέμου αποσβένονται μέσω της αλλαγής της ταχύτητας του δρομέα.

Τα πλεονεκτήματά αυτής της διάταξης είναι η αυξημένη πρόσληψη ισχύος, η βελτιωμένη ποιότητα ισχύος και η μειωμένη καταπόνηση των μηχανικών μερών της ανεμογεννήτριας.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα μειονεκτήματά της είναι οι απώλειες στους μετατροπείς ισχύος, η πολυπλοκότητα και το αυξημένο κόστος, καθώς οι αυξημένες απαιτήσεις για καλύτερη απόδοση του αντιστροφέα απαιτούν όλο και πιο εξελιγμένα μέρη.

Μία τυπική ανεμογεννήτρια συνδέεται απ' ευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και η γεννήτρια συγχρονίζεται με το δίκτυο. Οι ανεμογεννήτριες αυτές δημιουργούν προβλήματα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της απουσίας ελέγχου ενεργής και άεργου ισχύος, ο οποίος είναι πολύ σημαντικός για τη διατήρηση της τάσης και της συχνότητας μέσα στα επιτρεπτά όρια. Πιο συγκεκριμένα η απουσία ελέγχου άεργου ισχύος προκαλεί προβλήματα αστάθειας τάσης ενώ η απουσία ελέγχου ενεργής ισχύος δημιουργεί προβλήματα συχνότητας.

Όπως προκύπτει ένα σημαντικό ζήτημα που χρίζει αντιμετώπισης είναι αυτό της αστάθειας τάσης που προκύπτει από τα αιολικά συστήματα. Η αστάθειας τάσης διακρίνεται σε αστάθεια μόνιμης κατάστασης, αστάθεια μεταβατικής κατάστασης και δυναμική αστάθεια.

Πιο συγκεκριμένα, η αστάθεια μόνιμης κατάστασης σχετίζεται με την αργή αλλά σταθερή μεταβολή του φορτίου του συστήματος, η αστάθεια μεταβατικής κατάστασης σχετίζεται με μεγάλες διαταραχές και είναι η αδυναμία του συστήματος να διατηρήσει το συγχρονισμό του μετά από μία διαταραχή στο διάστημα που μεσολαβεί από την εφαρμογή της διαταραχής μέχρι την ενεργοποίηση των συστημάτων ελέγχου πραγματικής ισχύος, ενώ η δυναμική αστάθεια αφορά την ικανότητα του συστήματος να διατηρήσει το συγχρονισμό του μετά την πρώτη αρχική ταλάντωση και να αποκατασταθεί μία νέα ισορροπία μόνιμης κατάστασης.

Τα ουσιαστικά προβλήματα δημιουργούνται όταν υπάρχει ένταξη μεγάλου ποσού αιολικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβεί σε δύο κύριες περιπτώσεις:

1. Μεγάλα αιολικά πάρκα συνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς ή
2. Πολλά μικρά αιολικά πάρκα που συνδέονται με το σύστημα διανομής σε μια περιοχή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

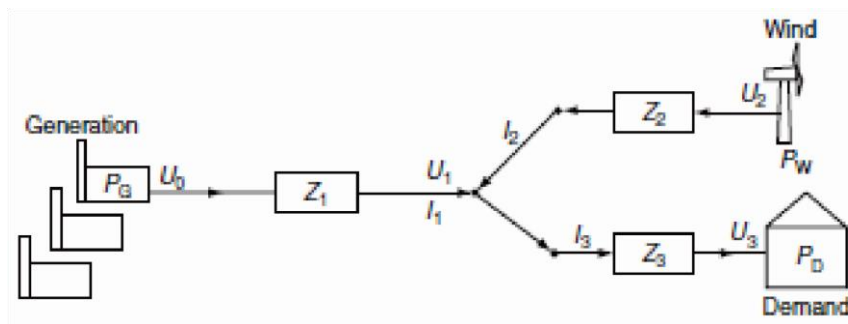
Και στις δύο περιπτώσεις, η εκτίμηση της ποιότητας ισχύος και της σταθερότητας του συστήματος είναι σύνθετη και ανάλογα με τα μεγέθη, απαιτούν ειδική μελέτη της τάσης και των διακυμάνσεων της συχνότητας.

Στη μικρή κλίμακα ένταξη αιολικής ενέργειας, η συχνότητα θεωρείται σταθερή. Όμως η μεγάλη ποσότητα αιολικής ισχύος, που είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, συνεπάγεται μη αμελητέα αλληλεπίδραση των ελεγκτών συχνότητας που βρίσκονται στους σταθμούς παραγωγής με τις μεγάλες μεταβολές στα φορτία, επομένως

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

μπορούν να συμβούν μεταβολές συχνότητας. Επιπλέον, τα μεγάλα ποσά άεργου ισχύος που απαιτούν τα αιολικά πάρκα μπορεί να μειώσουν τη συνολική παροχή άεργου ισχύος, γι' αυτό και τα όρια ευστάθειας τάσης μπορούν να μεταβληθούν και πρέπει να αναλυθούν.

Μπορούμε να απεικονίσουμε όμως καλύτερα τα ζητήματα που προκύπτουν από την μεγάλης κλίμακας διείσδυση αιολικής ενέργειας με ένα σχήμα. Στο Σχ.4 που ακολουθεί φαίνεται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχουν σπίτια και βιομηχανίες τα οποία καταναλώνουν ενεργό ισχύ P_D , ένα αιολικό πάρκο που παράγει ισχύ P_W , ενώ η επιπρόσθετη ισχύς P_G που απαιτείται παράγεται αλλού. Οι αντιστάσεις Z_1 - Z_3 αντιπροσωπεύουν τις αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς και των μετασχηματιστών του δικτύου.



Σχ.4 : Το ηλεκτρικό σύστημα του παραδείγματος

Στο δίκτυο του σχήματός μας θα ισχύει πάντα το ισοζύγιο ισχύος ως εξής:

$$P_G = P_D + P_L - P_W$$

όπου P_D η κατανάλωση ισχύος στα φορτία (σπίτια και επιχειρήσεις), P_G η επιπρόσθετη ισχύς που απαιτείται, P_L οι απώλειες στις γραμμές μεταφοράς και τους μετασχηματιστές και P_W η παραγόμενη αιολική ισχύς.

Η παραπάνω εξίσωση που περιγράφει το ισοζύγιο ισχύος ισχύει σε κάθε περίπτωση και υπονοεί ότι η δεν υπάρχει αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα. Επομένως οποιαδήποτε μεταβολή είτε στο φορτίο είτε στην παραγωγή θα πρέπει να εξισορροπηθεί από στοιχεία που υπάρχουν ήδη στο δίκτυο μας.

Βασικός σκοπός του συστήματος είναι να παρέχει στους καταναλωτές την απαραίτητη ισχύ σε οποιαδήποτε στιγμή και σε λογικό κόστος. Επομένως οι τρεις βασικές απαιτήσεις των καταναλωτών είναι:

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η τάση να παραμένει μέσα στα αποδεκτά όρια αφού οι περισσότερες οικιακές συσκευές απαιτούν συγκεκριμένο εύρος τάσης για να λειτουργήσουν σωστά (π.χ. $220V \pm 10\%$). Εδώ διακρίνουμε 2 περιπτώσεις. Αρχικά υποθέτουμε ότι δεν έχουμε αιολική παραγωγή και η τάση U_0 είναι σταθερή λόγω της σταθερής παραγωγής P_G . Αν υπάρξουν διακυμάνσεις στη ζήτηση P_D τότε μεταβάλλονται και τα ρεύματα I_1, I_3 και άρα θα αλλάξει και η τάση στις αντιστάσεις Z_1, Z_3 . Για να αποφύγουμε τις μεγάλες διακυμάνσεις μπορούμε να κάνουμε τα εξής:

α) χρήση ισχυρότερου δικτύου με χρήση μεγαλύτερης τάσης μεταφοράς ώστε να μειωθεί το ρεύμα άρα και οι απώλειες,

β) έλεγχο της τάσης U_3 με ελεγχόμενους μετασχηματιστές κοντά στη U_3 ,

γ) έλεγχο της τάσης U_1 με ελεγχόμενους μετασχηματιστές ή και χρήση εξοπλισμού ελέγχου τάσης όπως συστοιχία πυκνωτών.

Έπειτα υποθέτουμε την ύπαρξη αιολικής παραγωγής P_W . Επειδή η αιολική παραγωγή παρουσιάζει διακυμάνσεις, θα υπάρχουν διακυμάνσεις στο ρεύμα I_2 άρα και στο I_1 , επομένως θα υπάρχει μεταβολή της τάσης της Z_1 . Όπως βλέπουμε λοιπόν, η επίδραση της αιολικής παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την Z_1 . Αν η Z_1 είναι μεγάλη, η σχέση μεταξύ της μεταβαλλόμενης αιολικής παραγωγής και των διακυμάνσεων της U_3 θα είναι μεγάλη, ενώ αν η Z_1 είναι μικρή, η U_3 θα είναι σχεδόν ανεπηρέαστη από τη μεταβολή της αιολικής παραγωγής. Στην πραγματικότητα επηρεάζονται μόνο οι καταναλωτές που βρίσκονται κοντά στο αιολικό πάρκο. Για να αποφύγουμε τέτοια προβλήματα μπορούμε να κάνουμε ότι και στην προηγούμενη περίπτωση και επιπλέον να χρησιμοποιήσουμε τοπικό έλεγχο της U_2 .

Η απαραίτητη ισχύς θα πρέπει να είναι διαθέσιμη ακριβώς τη στιγμή που τη χρειάζονται οι καταναλωτές για τις διάφορες εφαρμογές. Και πάλι εξετάζουμε πρώτα την περίπτωση χωρίς αιολική παραγωγή. Όταν λοιπόν οι καταναλωτές αυξήσουν τις απαιτήσεις τους, η απαιτούμενη ενέργεια θα προέλθει κατευθείαν από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής.



Σχ.5 : Ισορροπία ισχύος σε συμβατικό σταθμό παραγωγής

Το παραπάνω Σχ.5 δείχνει ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει τη σύγχρονη γεννήτρια και την τουρμπίνα νερού ή ατμού. Όταν το φορτίο P_D αυξάνει, αυξάνει άμεσα και η παραγωγή P_G , αύξηση που προκύπτει από την αποθηκευμένη κινητική ενέργεια P_S και όχι ευθέως από την τουρμπίνα με αποτέλεσμα να μειωθεί η ταχύτητα του ρότορα άρα και η συχνότητα. Για να περιοριστεί το φαινόμενο της μείωσης της ταχύτητας του ρότορα, εξοπλίζουμε τους σταθμούς παραγωγής με διατάξεις

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ελέγχου της συχνότητας, τα οποία προσαρμόζουν την παραγωγή όταν έχουμε μεταβολές της συχνότητας. Ο χρόνος αντίδρασης των διατάξεων αυτών είναι πολύ σημαντικός και εξαρτάται από τη δομή του σταθμού παραγωγής.

Στην περίπτωση που έχουμε αιολική παραγωγή, παρουσιάζεται η ανάγκη να ελέγξουμε ακόμα πιο προσεκτικά την ισορροπία του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή αύξηση της ζήτησης έχει την ίδια επίδραση στην ευστάθεια του συστήματος με τη μείωση της αιολικής παραγωγής, γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι σε αυτή την περίπτωση τα συστήματα ελέγχου έχουν ακόμα πιο σημαντικό ρόλο.

Η καταναλισκόμενη ισχύς θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε λογικό κόστος. Γενικά οι σχεδιαστές αιολικών συστημάτων οφείλουν να αναλύσουν το κόστος και τα πλεονεκτήματα για ένα συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας.

Αρχικά, το σύστημα θα πρέπει να έχει επαρκή δυνατότητα παραγωγής ώστε να καλύπτει τις μέγιστες ανάγκες. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η μέγιστη ισχύς που μπορεί το δίκτυο να μεταφέρει στους καταναλωτές, αφού αυτοί κατανέμονται στο δίκτυο και θα πρέπει το σύστημα να μπορεί να ικανοποιήσει τη μέγιστη ζήτηση για κάθε καταναλωτή. Φαίνεται λοιπόν ότι θα πρέπει στο σχεδιασμό να προβλέψουμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις ζήτησης, επομένως αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος σημαίνει και κατακόρυφη αύξηση του κόστους για τους καταναλωτές.

Έχοντας πλέον αναλύσει τα κυριότερα περιβαλλοντικά, κοινωνικά, αλλά και τεχνικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής διείδυσης, θα αναλύσουμε ενδελεχώς πρώτα την δομή μιας τυπικής αγοράς ενέργειας αλλά και τη λειτουργία του χρηματιστηρίου ενέργειας, δίνοντας ως παράδειγμα συστήματος και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυτά της Γερμανίας. Κατόπιν θα παρουσιάσουμε την εξέλιξη που είχε η εξάπλωση της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη και ειδικότερα στην Γερμανία καθώς και τους βασικότερους λόγους που συντέλεσαν σε αυτή.

Κεφάλαιο 3^ο: Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις
Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

3.1 Απελευθέρωση Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 όταν το μεγαλύτερο μέρος των εθνικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας είχε ακόμα μονοπωλιακό χαρακτήρα, η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη-μέλη αποφάσισαν να ανοίξουν σταδιακά τις αγορές τους στον ανταγωνισμό. Έτσι η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στις εξής κατευθύνσεις:

- Σαφή διάκριση μεταξύ των ανταγωνιστικών τμημάτων της βιομηχανίας (πχ παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) και των μη ανταγωνιστικών τμημάτων (πχ λειτουργία δικτύων-μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σπουδαιότερο αποτελεί από τη φύση του μονοπώλιο)
- Δυνατότητα για ισότιμη πρόσβαση στις υποδομές των μη ανταγωνιστικών τμημάτων της βιομηχανίας σε όλους τους επιχειρηματίες που θέλουν να δραστηριοποιηθούν στο κλάδο
- Απελευθέρωση της παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας και εξάλειψη φραγμών με σκοπό την ανταγωνιστικότερη δυνατή αγορά
- Δυνατότητα για εισαγωγές και εξαγωγές μεταξύ των κρατών μελών υπό το πρίσμα του ελεύθερου ανταγωνισμού και της πλήρους διασύνδεσης των επιμέρους ηλεκτρικών δικτύων της Ευρώπης
- Ελεύθερη επιλογή προμηθευτή από μέρους των καταναλωτών
- Καθιέρωση ανεξάρτητων ρυθμιστικών αρχών για την επίβλεψη των αγορών

Η πρώτη επίσημη Ευρωπαϊκή οδηγία με στόχο την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας εγκρίθηκε το 1996 (96/92/EC της 19ης Δεκεμβρίου 1996) με στόχο να ενσωματωθεί στα νομικά συστήματα των κρατών μελών έως το 1998. Αυτό ήταν και το πρώτο ουσιαστικό βήμα για την ενοποίηση των ευρωπαϊκών αγορών σπουδαιότερο πλέον υπό κοινό νομοθετικό πλαίσιο θα μπορούσαν να ομογενοποιηθούν. Ωστόσο, για να εξασφαλιστούν η αξιοπιστία, η αποδοτικότητα αλλά και η διαφάνεια του συστήματος κατέστη αναγκαία η ύπαρξη ενός διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (Transmission System Operator- TSO) που θα είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο, τη συντήρηση και εφόσον είναι αναγκαίο την ανάπτυξη του συστήματος μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή καθώς και των διασυνδέσεων του με άλλα συστήματα. Το πακέτο μέτρων που εγκρίθηκε καθορίζει τα καθήκοντα του διαχειριστή και ορίζει πως πρέπει να είναι ανεξάρτητος, τουλάχιστον διαχειριστικά, από άλλες δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με το σύστημα μεταφοράς και οφείλει να μην μεροληπτεί, κυρίως προς όφελος των θυγατρικών του εταιριών ή μετοχών του (π.χ. μπορεί θεωρητικά ο TSO να ανήκει σε όμιλο σπουδαιότερο θυγατρική συμμετέχει ανταγωνιστικά στο παραγωγικό τμήμα της βιομηχανίας όμως διοικητικά πρέπει να είναι ανεξάρτητος). Τέλος ο διαχειριστής οφείλει να τηρεί το απόρρητο των εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών. Στο πλαίσιο της καθολικής απελευθέρωσης των αγορών ενέργειας υπάρχει το πακέτο μέτρων του 1998 για το φυσικό αέριο (98/30/EC της 22ης

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ιουνίου 1998), σε απόλυτη σύμπλευση με το αντίστοιχο για την ηλεκτρική ενέργεια, με στόχο να ενσωματωθεί στα νομικά συστήματα των κρατών μελών έως το 2000. Το πακέτο κατανέμει ευθύνες σχετικά με την κατασκευή μεγάλων εγκαταστάσεων φυσικού αερίου, τη μεταφορά και διανομή καθώς και τη ρύθμιση της απελευθέρωσης της αγοράς φυσικού αερίου.

Ενίσχυση της προσπάθειας για τη καθιέρωση μιας ενιαίας απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας επιτεύχθηκε το 2003 με τη θέσπιση του δευτέρου πακέτου μέτρων απελευθέρωσης και ρύθμισης των ευρωπαϊκών αγορών ενέργειας (2003/54/EC της 26ης Ιουνίου 2003), με στόχο να ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο των κρατών μελών μέχρι το 2004 και με ορισμένες διατάξεις να πείθονται σε ισχύ μόλις το 2007. Το πακέτο άφορα κοινούς κανονισμούς της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρική ενέργειας. Υποχρεώνει τα κράτη μέλη να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για την επίτευξη καθορισμένων στόχων, όπως την προστασία των ευάλωτων καταναλωτών, τη διασφάλιση των θεμελιωδών δικαιωμάτων τους και την προώθηση της οικονομικής και κοινωνικής συνοχής. Μετά την 1η Ιουλίου 2007, όλοι οι καταναλωτές έπρεπε να έχουν τη δυνατότητα ελεύθερης επιλογής προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας.

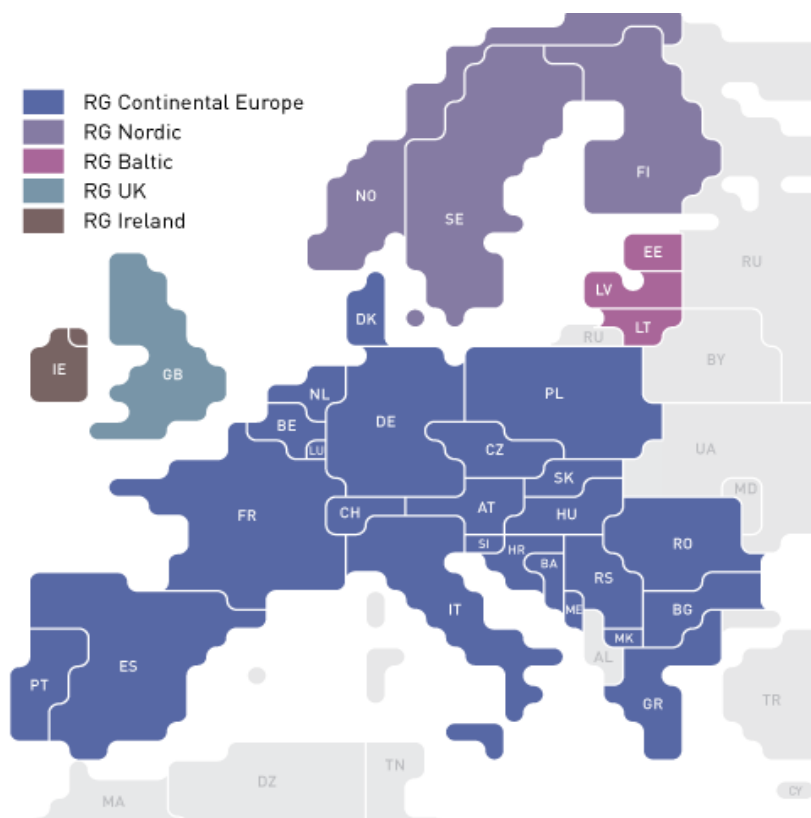
Πάρα τη σημαντική πρόοδο που είχε σημειωθεί, ο ανταγωνισμός καθυστέρησε, με τις αγορές να παραμένουν σε μεγάλο βαθμό εθνικές, καθετοποιημένες και με σχετικά περιορισμένο εμπόριο στις διασυνδέσεις. Τα υψηλά εμπόδια εισόδου που παρουσίαζε η αγορά σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές οδήγησαν το 2005 την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στη διενέργεια έρευνας για τον προσδιορισμό των φραγμών στην αύξηση του ανταγωνισμού των αγορών, τα αποτελέσματα της οποίας δημοσιεύθηκαν το 2007.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, στις 19 Σεπτεμβρίου 2007, η Επιτροπή προώθησε το τρίτο πακέτο μέτρων απελευθέρωσης ώστε να ενισχυθεί ο ανταγωνισμός στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι προτάσεις της Επιτροπής επικεντρώθηκαν στη διεύρυνση των επιλογών του καταναλωτή, στην επιβολή λογικότερων τιμών, στην ασφάλεια της παροχής και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τον Ιανουάριο του 2008, η Επιτροπή πρότεινε επιπρόσθετα μια φιλόδοξη σειρά μέτρων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το πακέτο αυτό περιλαμβάνει νέες κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την υποστήριξη περιβαλλοντικών στόχων από μέρους των κρατών μελών.

Παράλληλα με τις παραπάνω νομοθετικές πρωτοβουλίες και προκείμενου τόσο να μειωθούν τα εμπόδια για τις διεθνείς συναλλαγές όσοι και για να οργανώνονται βέλτιστα, αποφασίστηκε τον Ιούλιο του 1999 η ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών διαχειριστών των συστημάτων μεταφοράς στην ένωση ETSO (European Transmission System Operators). Η ένωση αυτή διαιρείται σε τέσσερις διαφορετικές οντότητες : τη UCTE για τις ηπειρώτικες χώρες της Ευρώπης, τη NORDEL για τη Βόρεια Ευρώπη, την ATSOI για ολόκληρη την Ιρλανδία και τη UKTSOA για το Ηνωμένο Βασίλειο. Επιπλέον, στις 30 Μαρτίου 2006 ιδρύθηκε η BALTSO, για τους διαχειριστές της Βαλτικής. Την 1η Ιουλίου 2009, όλα τα λειτουργικά καθήκοντα της ένωσης ETSO μεταφέρθηκαν στο ETSO-E (European Network of

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Transmission System Operators for Electricity). Σήμερα, το ENTSO-E συνεχίζει το συντονισμό των διαχειριστών στην ενιαία λειτουργία του ευρωπαϊκού διασυνδεδεμένου συστήματος, μέσω των πέντε περιφερειών του (regional groups) : Continental Europe (πρώην UCTE), Nordic (πρώην NORDEL), Baltic (πρώην BALTSO), UK (πρώην UKTSOA) και Ireland (πρώην ATSOI). Καταλήγουμε στη παρακάτω χαρτογράφηση της Ευρώπης με βάση αυτές τις περιφέρειες (Σχ.6) :



Σχ.6 : Χάρτης περιφερειών ENTSO-E 2011

3.2 Χρηματιστήριο Ηλεκτρικής Ενέργειας

3.2.1 Ιστορική Αναδρομή της Χρηματιστηριακής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη

Η χρηματιστηριακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε στην Γαλλία επίσημα τη λειτουργία της στις 26 Νοέμβριου 2001 υπό την Powernext SA. Αυτή ήταν η πρώτη διαθέσιμη ηλεκτρονική αγορά ενέργειας στην Ευρώπη (βασισμένη εξ' ολοκλήρου στο

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

διαδίκτυο). Σε πρώτη φάση αποφασίστηκε η λειτουργία μιας "Ημερήσιας Αγοράς" ωριαίων συμβολαίων (day-ahead market). Σκοπός της αγοράς ήταν να καθιερώσει μια τιμή αναφοράς για την ηλεκτρική ενέργεια στη Γαλλία. Οι αρχές των συναλλαγών ήταν παρόμοιες με αυτές που εφαρμόστηκαν και σε άλλες αγορές της Ευρώπης. Κατά την πρώτη ημέρα συναλλαγών, έξι μέλη (Cargill, EDFTrading, Electrabel, Endesa, Iberdrola, TotalFinaElf) υπέβαλαν τις προσφορές τους. Ένα χρόνο μετά το άνοιγμα της νέας αγοράς, η Powernext είχε 32 μέλη μεταξύ των οποίων 25 επεδείκνυαν ενεργή εμπορική δραστηριότητα. Συνήθεις καθημερινές ποσότητες συναλλαγών τον πρώτο καιρό λειτουργίας αυτής της αγοράς κυμαίνονταν μεταξύ 10.000 MWh και 15.000 MWh.

Τον Ιούνιο του 2004 ξεκίνησε τη λειτουργία τη η "Αγορά Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης" (Future market) της Powernext. Στις 21 Νοέμβριου 2006 η ημερήσια αγορά περιήλθε σε κοινό πλαίσιο εκκαθάρισης με τις αντίστοιχες του Βελγίου και της Ολλανδίας, μέσω του ευρέως διαδεδομένου "Trilateral Market Coupling" (TLC). Εν συνέχεια, τον Ιούλιο του 2007 ξεκίνησαν τη λειτουργία τους η "Ενδοημερήσια Αγορά" (intraday market) και η "Συνεχής Αγορά" (continuous market) της Powernext.

Στις 31 Δεκεμβρίου 2008 η ημερήσια και η ενδοημερήσια αγορά, καθώς και οι δραστηριότητες του κοινού πλαισίου εκκαθάρισης TLC μεταφέρθηκαν στο EPEXSPOT SE, με την Powernext να διατηρεί μερίδιο 50% σ' αυτή τη νέα εταιρεία. Την 1η Απριλίου 2009 η Powernext μεταβίβασε τις δραστηριότητες εκκαθάρισης της τρέχουσας αγοράς, δηλαδή της αγοράς όψεως (spot market), από την LCH.Clearnet SA στην ECC (European Commodity Clearing AG). Μεταβίβασε επίσης την αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης στο EEX Power Derivatives GmbH (EPD), αποκτώντας ως αντάλλαγμα μερίδιο 20% στην εταιρεία αυτή.

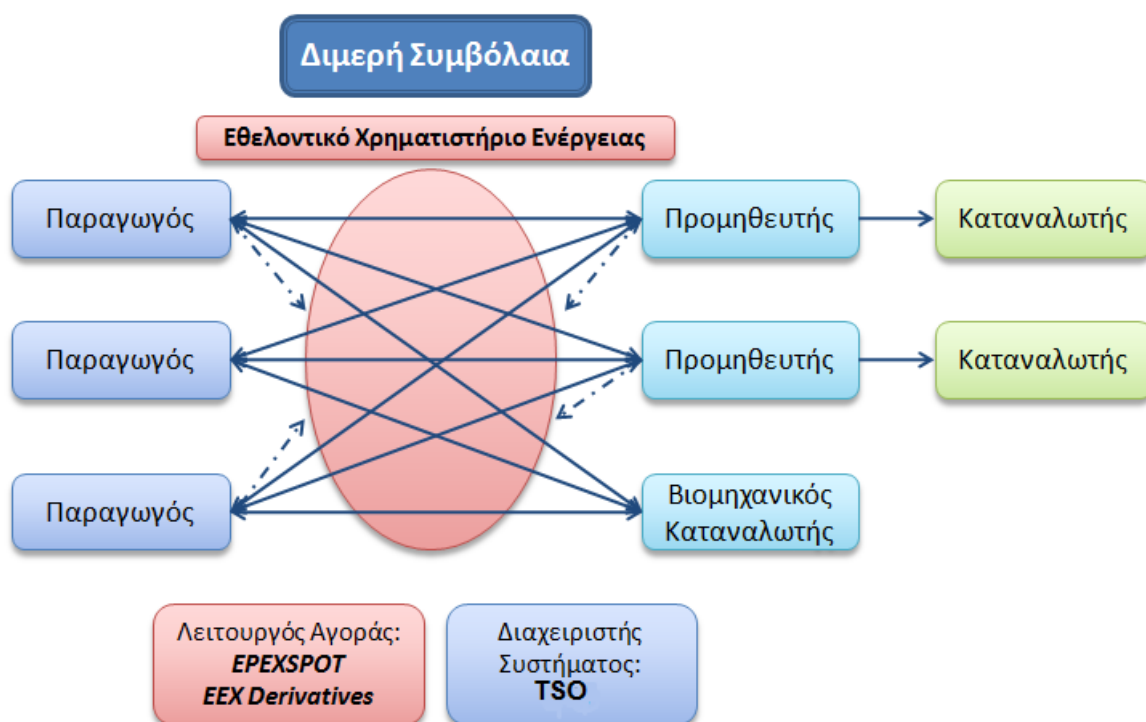
Τέλος, από το Νοέμβριο του 2010, το TLC διευρύνθηκε ώστε να συμπεριλάβει Γερμανία/Αυστρία και το Λουξεμβούργο, συνθέτοντας το κοινό πλαίσιο εκκαθάρισης των αγορών τη κεντρικής και δυτικής Ευρώπης (Central Western Europe Market Coupling -CWE). Παράλληλα, έχουμε την έναρξη ενός ευρύτερου κοινού πλαισίου εκκαθάρισης μεταξύ των περιφερειών CWE και της Σκανδιναβίας (Interim Tight Volume Coupling - IVTC).

Στη Γερμανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας η πλειοψηφία της εμπορικής δραστηριότητας γίνεται διμερώς (Bilateral Over The Counter-OTC), με απευθείας συναλλαγές ή με χρήση διαμεσολαβητών (brokers και πλατφόρμες συναλλαγών). Συμπληρωματικά λειτουργεί ένα εθελοντικό οργανωμένο χρηματιστήριο ηλεκτρικής ενέργειας (EPEXSPOT- EXX Derivatives).

Η εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνα χρονιά πριν και συνεχίζεται μέχρι το πραγματικό χρόνο κατανομής, τη στιγμή δηλαδή που η ενέργεια ρέει από την παραγωγή προς τη κατανάλωση. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί ή να αγοραστεί σε πολλές μορφές αγορών ανάλογα με το χρόνο ως προς την φυσική της παράδοση. Από τη μια πλευρά οι διμερείς συμβάσεις είναι μακροπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες ή βραχυπρόθεσμες και αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου συναλλαγών στη Γερμανία. Από την άλλη πλευρά, στο χρηματιστήριο ενέργειας ένας συμμετέχων μπορεί να εμπλακεί στην

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεΐσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ημερήσια και ενδοημερήσια αγορά λειτουργός των οποίων είναι ο EPEXSPOT, ή να δραστηριοποιηθεί στην αγορά φυσικών ή οικονομικών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (physical-financial futures) λειτουργός της οποίας είναι το EEX Derivatives. Οι διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς χειρίζονται την λειτουργία και την ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς και είναι υπεύθυνοι για την εξισορρόπηση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Οποιοσδήποτε αποκλίσεις παραγωγής-ζήτησης προκαλούνται, ρυθμίζονται από τον TSO μέσω του μηχανισμού εξισορρόπησης και εκκαθαρίζονται μετέπειτα (ex post) μεταξύ του TSO και των συμμετεχόντων στην αγορά.



Σχ.7 : Απεικόνιση της λειτουργίας του χρηματιστηρίου ενέργειας

3.2.2 Μηχανισμοί Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

3.2.2.1 Ανάλυση Καθορισμού Τιμών

Οι ανταγωνιστικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως διέπονται από μια ή παραπάνω δημοπρασίες. Συγκεκριμένα, ο επιτελών την διεξαγωγή της αγοράς λαμβάνει προσφορές από τους παραγωγούς και εκτιμήσεις ή ποσά ζήτησης από τους "χονδρέμπορους" ηλεκτρικής ενέργειας και / ή από τους τελικούς καταναλωτές, από τις οποίες υπολογίζει το βέλτιστο πρόγραμμα διανομής, δηλαδή εκείνο το συσχετισμό προσφορών και ζητήσεων όπου ικανοποιούνται με τον οικονομικότερο τρόπο, δεδομένου ότι δεν δημιουργούνται

προβλήματα από τεχνικούς και φυσικούς περιορισμούς. Επιπλέον, η τιμή και το πρόγραμμα διανομής αποτελούν μετρώ σύγκρισης για άλλα προϊόντα, όπως διμερή συμβόλαια, τελικά προϊόντα και χρηματοοικονομικά παράγωγα. Προκειμένου να ενισχυθεί η διαφάνεια της αγοράς, γενικά δημοσιεύεται το καθημερινό πλαίσιο τιμών.

Υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των παραγωγών που τοποθετούν προσφορές στο χρηματιστήριο ενέργειας. Οι Bolle (1992), Green and Newbery (1992), and Newbery (1998) μοντελοποίησαν την αγορά θεωρώντας ισορροπία της καμπύλης προσφοράς (supply-function equilibria), δηλαδή θεώρησαν ότι οι προσφορές των παραγωγών ήταν διαρκώς διαφοροποιημένες. Αντίθετα, οι von der Fehr and Harbord (1993) and Brunekreeft (2001) μοντελοποίησαν την αθροιστική παραγωγή χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των δημοπρασιών (auction approach), υποθέτοντας επομένως κλιμακωτή καμπύλη παραγωγής.

Η δεύτερη προσέγγιση δημιουργεί θεωρητικό υπόβαθρο για διάφορες εμπειρικές παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, αναδεικνύει ότι η μείωση του αριθμού των παραγωγών οδηγεί αδιαμφισβήτητα σε αύξηση των τιμών των προσφορών. Ο Wolfram (1998) λοιπόν παρατηρεί ότι όντως προκύπτουν αντίστοιχα εμπειρικά αποτελέσματα. Αυτή είναι και η προσέγγιση που θα ασπαστούμε και εμείς στην παρούσα εργασία.

3.2.2.2 Στρατηγικές Προσφορών

Η πραγματική στρατηγική τοποθέτησης προσφορών που επιλέγουν οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το ιστορικό της αγοράς, οι κανόνες δημοπρασίας της αγοράς κ.α. Η ανάπτυξη της κατάλληλης στρατηγικής προσφορών απαιτεί, από τη μια σωστή προσομοίωση της αγοράς αλλά και δυναμική προσαρμογή στις αλλαγές που επιτελούνται στις αγορές. Οι Supatgiat, Zhang, and Birge (2001) κατέληξαν ότι η βέλτιστη στρατηγική για τους παραγωγούς προκύπτει να είναι η ισορροπία του Nash (Nash equilibrium). Απέδειξαν ότι σε ένα ντετερμινιστικό πλαίσιο ζήτησης προκύπτει πάντα ένα σημείο ισορροπίας.

Ωστόσο, εάν η ζήτηση είναι στοχαστική είναι πιθανό να μην υπάρχει τέτοιο σημείο. Επίσης, έδειξαν ότι το συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα μπορεί να είναι βέλτιστο όταν ο κάθε παίκτης της αγοράς συμπεριφέρεται για τον εαυτό του βέλτιστα. Ο Wolfram (1998) εξέτασε εμπειρικά την στρατηγική συμπεριφορά των παραγωγών στην περίπτωση του συστήματος 'πισίνας' της Αγγλίας και Ουαλίας και κατέληξε ότι για παράδειγμα το mark up στα οριακά κόστη των προσφορών αυξάνεται ανάλογα με τη πιθανότητα των αντίστοιχων εργοστασίων παραγωγής να χρησιμοποιηθούν.

3.2.2.3 Τύποι Δημοπρασιών

Μια πληθώρα μηχανισμών δημοπρασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καταμερισμό και την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πίνακας 4 είναι ένα παράδειγμα για την κατηγοριοποίηση των δημοπρασιών. Ένα κριτήριο είναι το πλήθος των πλευρών που προσφέρουν. Εάν οι προσφορές γίνονται μόνο από μια πλευρά και γίνονται δεκτές από την άλλη πλευρά η δημοπρασία είναι μονόπλευρη (one-sided). Αντίθετα, η διμερής δημοπρασία (double-sided auction) χρησιμοποιεί προσφορές και από τους πωλητές και από τους αγοραστές της εμπορεύσιμης αξίας.

Για τον καθορισμό της τιμής υπάρχουν δυο σχετικές προσεγγίσεις. Στη πρώτη περίπτωση, η οριακή τιμή (uniform pricing) προφέρει το ίδιο ποσό για κάθε προσφορά που τελικά γίνεται δεκτή. Η τιμή αυτή καθορίζεται από την τιμή της τελευταίας προσφοράς που έγινε δεκτή. Στη δεύτερη περίπτωση, οι συναλλαγές τιμολογούνται με διακριτό τρόπο (pay-your-bid pricing). Παρακάτω εξηγείται περαιτέρω η μεθοδολογία αυτή. Επίσης, οι δημοπρασίες διακρίνονται και με βάση το τρόπο που διαχειρίζονται οι προσφορές δηλαδή εάν δημοσιεύονται σε όλους τους συμμετέχοντες ή όχι (sealed vs. open auctions).

Στην ευρωπαϊκά χρηματιστήρια ενέργειας το συνηθισμένο σύστημα είναι η διμερής δημοπρασία (double-sided auction) για κάθε μια ώρα ώστε να υλοποιηθούν συναλλαγές σε μια ενιαία τιμή και σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελεί εξαίρεση καθώς οι συναλλαγές γίνονται σειριακά και συνεχόμενα (continuous trade).

Σε κάθε περίπτωση, οι συμμετέχοντες αποφασίζουν με τις προσφορές παραγωγής και ζήτησης ποσό σκοπεύουν να πουλήσουν και να αγοράσουν αντίστοιχα. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν ανώτατα και κατώτατα όρια στις τιμές καθώς και όρια στη διακύμανση των τιμών ώστε να επιτυγχάνεται η συνέχεια των τιμών. Όταν η ενδεχομένη εκτέλεση της δημοπρασίας οδηγεί έξω από αυτά τα όρια οι συμμετέχοντες καλούνται σε επιπλέον δημοπρασίες να αναθεωρήσουν τη στρατηγική τους. Συνήθως οι συμμετέχοντες μπορούν να προσθέσουν επιπλέον απατήσεις στις προσφορές τους, όπως το να προσφέρουν ή να ζητούν την ίδια ποσότητα ενέργειας για συνεχόμενες ώρες σε πακέτα (block bids). Το Σχ.8 παρουσιάζει τη βασική δομή μιας δημοπρασίας. Οι συμμετέχοντες έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν τις προσφορές τους μέχρι το τέλος της δημοπρασίας όμως τότε η προσφορά παίρνει διαφορετικό χρονικό προσδιορισμό που μπορεί να παίξει ρόλο στο ταίριασμα των προσφορών.

Τελικά για τον καθορισμό της τιμής όλες οι προσφορές συλλέγονται και ταξινομούνται δημιουργώντας τις συνολικές καμπύλες προσφοράς και ζήτησης για κάθε ώρα. Για κάποιες συναλλαγές συμπεριλαμβάνουν πακέτα ωρών, που όμως έχουν μετατραπεί για την υλοποίηση της διαδικασίας σε ανεξάρτητες ωριαίες προσφορές. Ωστόσο τα πακέτα συνολικά θα γίνουν δεκτά και αντίστοιχα συνολικά θα απορριφθούν ένα βρεθούν να είναι η τελευταία προσφορά που γίνεται δεκτή.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεΐσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αυτή η απλή διαδικασία δεν λαμβάνει υπόψη ειδικές καταστάσεις ή τυχόν περιορισμούς του δικτύου και το αποτέλεσμα είναι η αρχική τιμή εκκαθάρισης της αγοράς (initial auction price) για κάθε ώρα. Η τιμή εκκαθάρισης της αγοράς είναι ίση με το επίπεδο τιμών που ορίζει η συμβολή της αθροιστικής καμπύλης ζήτησης με αυτήν της αθροιστικής καμπύλης προσφοράς. Έαν δεν υπάρξει τομή των καμπυλών, διεξάγεται δεύτερος γύρος δημοπρασίας (ή σπάνια υιοθετείται η εκκαθαριστική τιμή της αμέσως προηγούμενης δημοπρασίας. Τα πακέτα ωρών τιμολογούνται σύμφωνα με τον αριθμητικό μέσο ορο των τιμών εκκαθάρισης των αντίστοιχων ωρών.

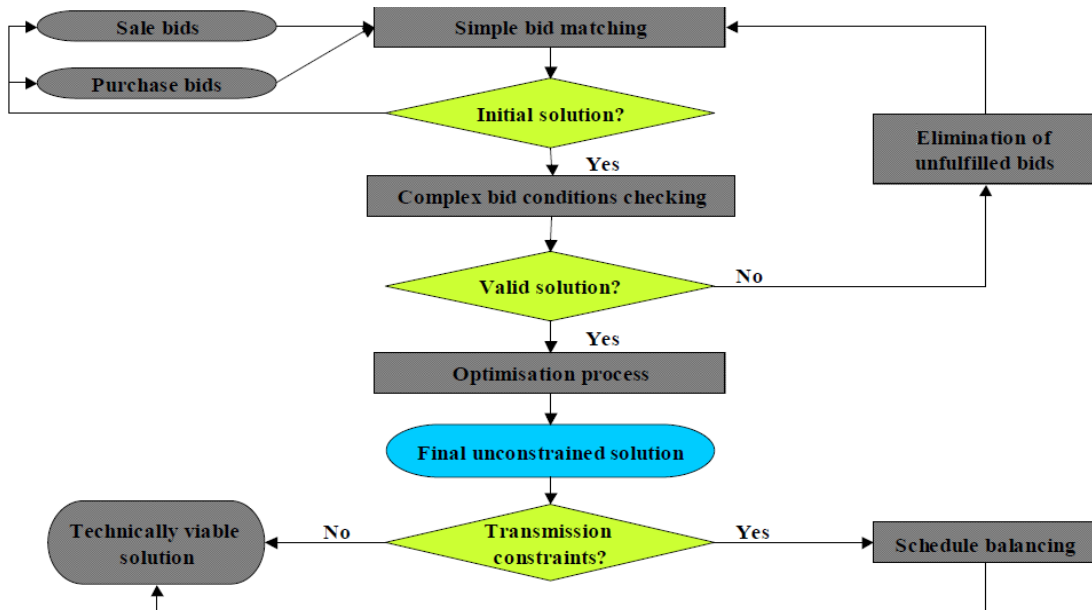
Επομένως, η τιμή εκκαθάρισης θα είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση με την τιμή που προφέρει ο κάθε παραγωγός και μικρότερη ή ίση από την τιμή που προσφέρεται να αγοράσει ο κάθε αγοραστής που συμμετέχουν στην αγοροπωλησία ενέργειας για την κάθε ώρα. Αυτό φυσικά δημιουργεί κίνητρο στους παραγωγούς να προσφέρουν σε χαμηλές τιμές κοντά στα οριακά τους κόστη ώστε να συμπεριληφθούν στο τελικό μείγμα παραγωγών που θα πουλήσουν τελικά την ενέργεια που προσφέρουν. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως προαναφέρθηκε, είναι πολύ πιθανό η τελική τιμή που θα πληρωθούν να είναι μεγαλύτερη από αυτή που αρχικά προσέφεραν.

Classification of auction types

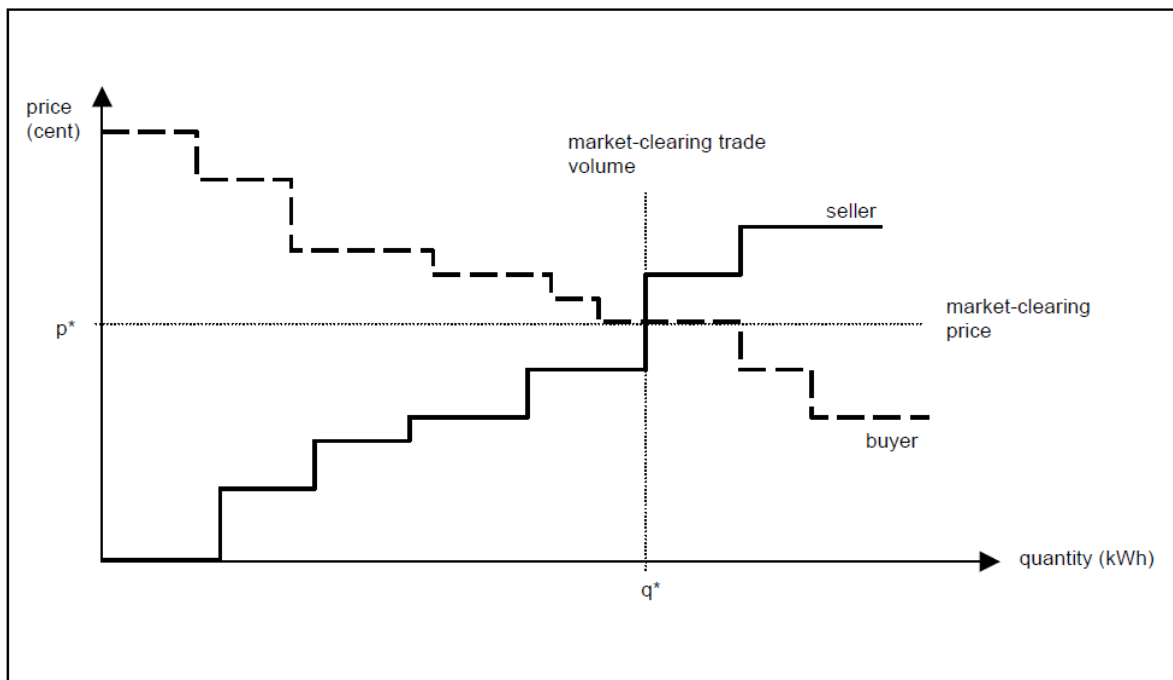
Criteria		Type
No. of bidding sides:	One-sided	Double-sided
Objective function:	Cost minimisation	Consumer payment minimisation
Pricing rule:	Uniform pricing	Discriminatory (pay-your-bid) pricing
Disclosure of bids:	Open	Sealed

Πίνακας 4 : Κατηγοριοποίηση τύπων δημοπρασίας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.8 : Βασική δομή μιας δημοπρασίας



Σχ.9 : Καθορισμός οριακής τιμής του συστήματος

3.2.3 Δομή Χρηματιστηρίου Ενέργειας

3.2.3.1 Προθεσμιακές Αγορές (Forward Markets)

Ένα τυπικό προθεσμιακό συμβόλαιο αποτελεί μια συμφωνία μεταξύ ενός αγοραστή και ενός πωλητή για την παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μελλοντικό χρόνο και την πληρωμή σε μια τιμή που συμφωνείται μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών στο παρόν. Το εμπόριο προθεσμιακών συμβολαίων είναι συνεχές και λήγει όταν τα καθημερινά προγράμματα παραγωγής πρέπει να υποβληθούν στον TSO, την προηγούμενη ημέρα της ημέρας κατανομής (D-1). Οι προθεσμιακές συναλλαγές μπορεί να εκτελεστούν βασικά με δυο τρόπους. Απο τη μια πλευρά οι συμμετέχοντες συναλλάσσονται διμερώς εξωχρηματιστηριακά, με σύναψη τυποποιημένων συμβολαίων ή εξατομικευμένων συμβάσεων (στις τελευταίες διαπραγματεύονται τους όρους και την εκτέλεση των συμβολαίων έτσι ώστε να βελτιώσουν τις προοπτικές τους).

Μια άλλη δυνατότητα είναι η χρήση της οργανωμένης προθεσμιακής αγοράς, δηλαδή μιας αγοράς συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (Futures market), λειτουργός της οποίας είναι το EEX Derivatives. Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν ανώνυμα να αγοράζουν και να πωλούν διαφορετικά είδη τυποποιημένων προθεσμιακών προϊόντων βασισμένων πάνω σε διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες (μηναία συμβόλαια φορτίου αιχμής, ετήσια συμβόλαια βασικού φορτίου, κλπ.).

Ένα πλεονέκτημα των συναλλαγών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης στην οργανωμένη αγορά είναι ότι τα συμβαλλόμενα μέρη εκπληρώνουν τις εκ των συμβολαίων οικονομικές δεσμεύσεις τους προς το χρηματιστήριο και όχι ανα μεταξύ ούτε και συνεπώς, δεν χρειάζεται να αξιολογήσουν την πιστοληπτική δυνατότητα του αντισυμβαλλόμενου μέρους. Με τον τρόπο αυτόν, δεν αντιμετωπίζουν το ρίσκο χρεωκοπίας του τελευταίου.

3.2.3.2 Ημερήσια Αγορά (Day ahead market)

Η ημερήσια αγορά στη Γερμανία, σε αντίθεση με τις διμερείς συμβάσεις είναι μια οργανωμένη αγορά και παράγει μια ενιαία τιμή εκκαθάρισης για κάθε περίοδο κατανομής της ημέρας κατανομής. Το EPEXSPOT προσφέρει υπηρεσίες συνδυασμού των προσφορών των συμμετεχόντων στην παραγωγή και την κατανάλωση, με συναλλαγές τυποποιημένων συμβολαίων. Η τιμή για κάθε ώρα της επομένης ημέρας καθορίζεται βάσει των προσφορών έγχυσης και των δηλώσεων φορτίου που υποβάλλονται από τους συμμετέχοντες μέχρι την ώρα λήξης υποβολής των προσφορών (κλείσιμο αγοράς), δηλαδή μέχρι τις 12:00 της προηγούμενης από την ημέρα κατανομής.

Οι προσφορές μπορούν να είναι απλοί ωριαίοι συνδυασμοί τιμής και ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, ή να υποβάλλονται σε προκαθορισμένα ή μη μπλοκ διάφορων ωρών της ημέρας κατανομής, τα οποία είτε γίνονται αποδεκτά για όλες τις ώρες ή απορρίπτονται στο σύνολο τους. Η οριακή τιμή του συστήματος (ΟΤΣ) βρίσκεται στο σημείο τομής των καμπυλών προσφοράς και ζήτησης που προκύπτουν από τις αντίστοιχες προσφορές έγχυσης και δηλώσεις φορτίου. Πρόκειται για τη τιμή στην οποία εκκαθαρίζονται όλες οι συναλλαγές και κατά συνέπεια την οποία οι συμμετέχοντες χρεώνονται ή πιστώνονται. Οι συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας στο EPEXSPOT είναι εθελοντικές

3.2.3.2 Ενδοημερήσια Αγορά (Intraday market)

Ακολούθως της ημερήσιας αγοράς, οι συμμετέχοντες συνεχίζουν να βελτιώνουν τις θέσεις τους στην ενδοημερησια αγορά, υπο το πρίσμα των νέων πληροφοριών σχετικά με την ίδια παραγωγή ή κατανάλωση τους καθώς και με τη συνολική κατάσταση του συστήματος. Οι ενδοημερησιες συναλλαγές συνεπώς μπορούν να θεωρηθούν ως μια χρονική επέκταση της βελτίωσης των θέσεων των συμμετεχόντων στη ημερήσια αγορά. Ξεκινώντας στις 15:00 την προηγούμενη ημέρα (D-1) της ημέρας κατανομής οι συμμετέχοντες μπορούν να διαπραγματεύονται όλες τις ώρες της επομένης μέρας, μέχρι και 75 λεπτά πριν την ώρα κατανομής.

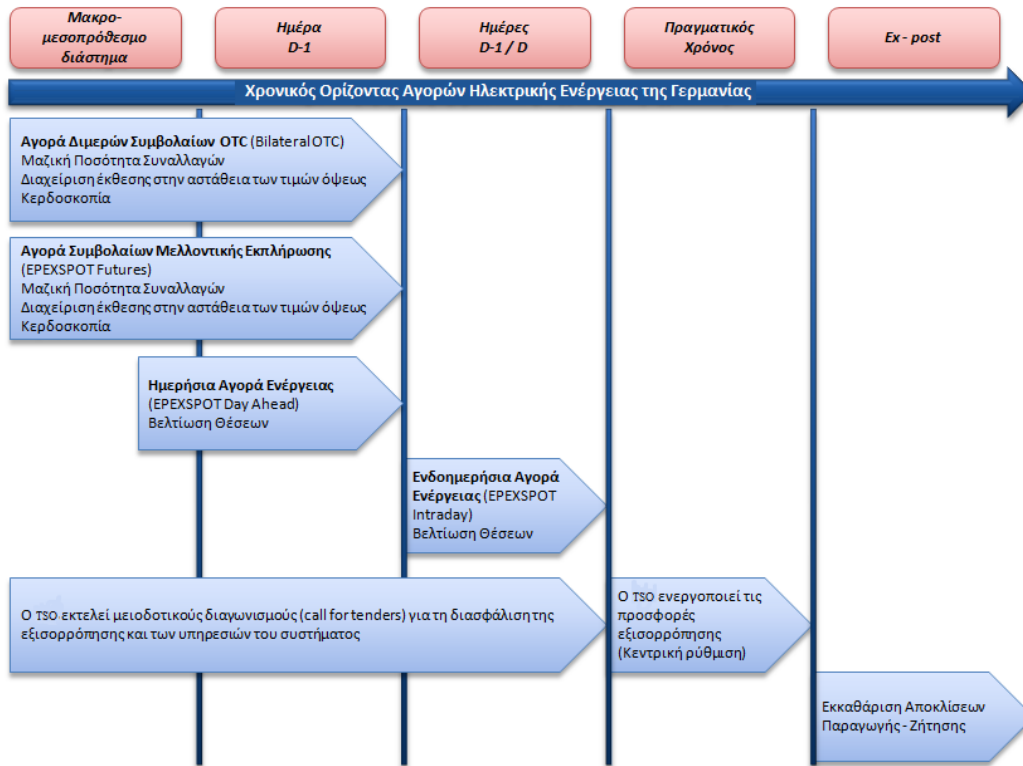
Οι κανόνες συνδυασμού εξασφαλίζουν ότι οι προσφορές εγχύσεις και οι δηλώσεις φορτίου εκκαθαρίζονται στην καλύτερη διαθέσιμη τιμή του συστήματος (security constrained economic dispatch). Οι καλύτερες δηλαδή προσφορές έγχυσης από άποψη τιμής αλλά και ώρας λήψης (merit order curve) συνδυάζονται με τις αντίστοιχες δηλώσεις φορτίου συνθέτοντας συμβόλαια, οι όροι των οποίων είναι δεσμευτικοί για τους συμβαλλόμενους (έγχυση ή απορρόφηση των αντίστοιχων ποσοτήτων κατά το δεδομένο χρόνο κατανομής και οι επακόλουθες χρεοπιστώσεις). Οι συμμετέχοντες έπειτα υποβάλλουν τα νέα διορθωτικά προγράμματα παραγωγής στον TSO, υποκείμενα σε ειδικούς χρονικούς και τεχνικούς περιορισμούς.

3.2.3.3 Αγορά Εξισορρόπησης (Balancing market)

Για να ισορροπεί διαρκώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την κατανάλωση, σε πραγματικό χρόνο, οι διαχειριστές του συστήματος χρησιμοποιούν τις αγορές εξισορρόπησης ή αλλιώς τις αγορές πραγματικού χρόνου. Μετά το κλείσιμο των θυρών της ενδοημερήσιας αγοράς 75 λεπτά πριν την φυσική παράδοση της ενέργειας, οι συμμετέχοντες υποβάλουν προσφορές που υποδηλώνουν τις τιμές που ζητούν για να αυξήσουν την παραγωγή τους και να μειώσουν την κατανάλωση ή να μειώσουν την παραγωγή τους και να αυξήσουν την κατανάλωση του αντίστοιχα, για ένα συγκεκριμένο όγκο αμέσως. Τέτοιες υπηρεσίες εξισορρόπησης (ancillary services) είναι αναγκαίες για την ρύθμιση του επιπέδου της τάσης, της συχνότητας του δικτύου και την παροχή της άεργου ισχύος. Στο τέλος γίνονται οι εκκαθαρίσεις των αποκλίσεων και οι αντίστοιχες πληρωμές.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η γενική χρονική αλληλουχία των παραπάνω αγορών ως προς τον πραγματικό χρόνο κατανομής, όπως και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχ.10 :



Σχ.10 : Χρονική αλληλουχία χρηματιστηριακών αγορών

Η δομή της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στη Γερμανία σχηματικά (Σχ.11):



Σχ.11 : Δομή ηλεκτρικής αγοράς της Γερμανίας

3.2.4 Λειτουργοί Χρηματιστηριακής Αγοράς της Γερμανίας

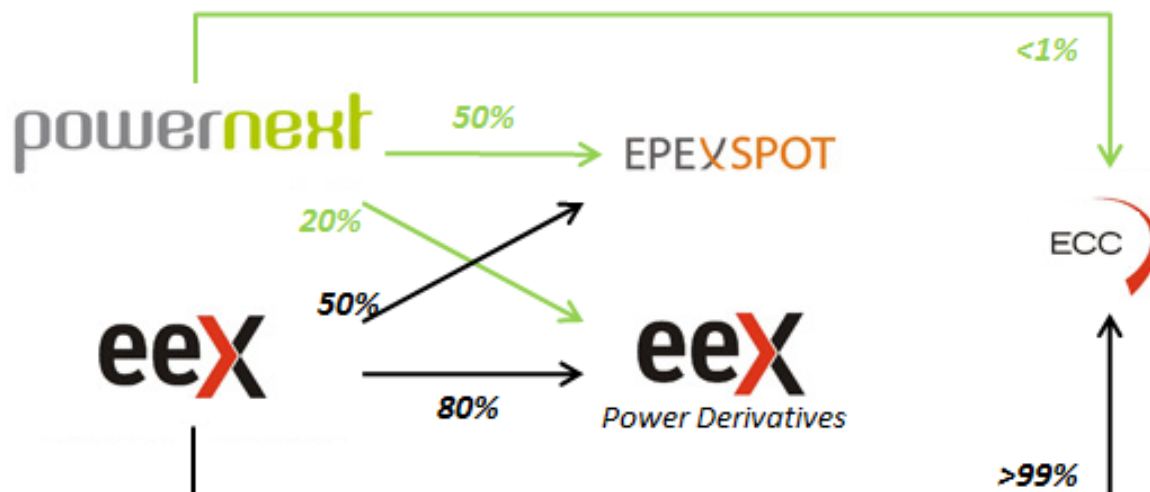
Απαρχή της ανάπτυξης χρηματιστηρίων ενέργειας στην Ευρώπη αποτέλεσε η απελευθέρωση των αγορών ενέργειας που ξεκίνησε το 1996. Κύριοι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν από τη μια πλευρά, η ασφάλεια της παροχής και από την άλλη η ανταγωνιστικότητα των τιμών, ενώ μακροπρόθεσμη επιδίωξη η δημιουργία μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την περασμένη δεκαετία, διάφορα χρηματιστήρια ενέργειας δημιουργήθηκαν στην Ευρώπη (σήμερα υπάρχουν περίπου 20). Με την καθιέρωση αξιόπιστων τιμών αναφοράς (reference prices) και τη δημιουργία κοινών όρων ανταγωνισμού, έγιναν βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία των αγορών.

Προς το συμφέρον της δημιουργίας μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς λειτουργεί εκτός των άλλων, και η όποια συνεργασία μεταξύ των χρηματιστηριακών αγορών (trading platforms) : "Η τιμή στη Γερμανία και την Γαλλία είναι στη πραγματικότητα η τιμή αναφοράς για την υπόλοιπη Ευρώπη. Είναι εξαιρετικά σημαντικό αυτή η τιμή αναφοράς να προέρχεται από μια διάφανη αγορά με επαρκείς ποσότητες συναλλαγών και επαρκή αριθμό συμμετεχόντων. Πιστεύω ακράδαντα, ότι με την κατάλληλη επίβλεψη των χρηματιστηρίων, η τιμή μπορεί και θα πρέπει να είναι αποδεκτή από όλους τους συμμετέχοντες της αγοράς και όλους τους φορείς λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένου και εμού" τόνισε ο πρώην Ευρωπαίος Επίτροπος για την ενέργεια Adriw Piebalgs.

Αποφασιστικό βήμα λοιπόν, για την υλοποίηση αυτού του Ευρωπαϊκού οράματος αποτέλεσε η συνεργασία των χρηματιστηρίων ενέργειας EEX AG (European Energy Exchange) με έδρα τη Γερμανία, και Powernext SA με έδρα τη Γαλλία η οποία υπεγράφη στις 6 Μάρτιου 2008. Γόνος αυτής της συνεργασίας είναι το EPEXSPOT SE, ιδιοκτησία κατά 50% της Powernext και κατά 50% του EEX και τα κύρια παραδοτέα:

- Η δημιουργία του EPEXSPOT SE, χρηματιστηρίου ενέργειας με έδρα το Παρίσι και παράρτημα στη Λειψία, που καλύπτει τη γαλλική, γερμανική, αυστριακή και ελβετική τρέχουσα αγορά (spot market).
- Η δημιουργία του EEX Power Derivatives GmbH (EPD), χρηματιστήριο παραγωγών προϊόντων με έδρα τη Λειψία και παράρτημα στο Παρίσι, που καλύπτει Γαλλία και Γερμανία.
- Η εκκαθάριση όλων των συναλλαγών (τρέχουσες ή παραγωγών προϊόντων) από τη European Commodity Clearing AG (ECC) που εδρεύει στη Λειψία.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.12 : Δημιουργία EPEXSPOT & EEX Derivatives

Ακολούθως της εγκαθίδρυσης του EPEXSPOT SE, στις 31 Δεκεμβρίου 2008 οι Powernext και EEX ενσωμάτωσαν όλες τις εμπορικές δραστηριότητες της τρέχουσας αγοράς τους στο EPEXSPOT. Την 1^η Απριλίου 2009, η Powernext μεταβίβασε τις δραστηριότητες εκκαθάρισης των αγορών της από την LCH. Clearent SA στην ECC, καθώς και την αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης στο EEX Derivatives. Η Powernext σε αντάλλαγμα διατηρεί μερίδιο 20% στο EEX Derivatives. Μετά από αυτές τις εργασίες οι Powernext και EEX παραμένουν δυο ξεχωριστές οντότητες και η καθεμιά συνεχίζει την ανάπτυξη της.

Η συνεργασία αυτή των χρηματιστηρίων για λογαριασμό των αγορών διαφόρων χωρών προτείνει ένα διάφανη και αξιόπιστο μηχανισμό διαμόρφωσης των τιμών και έχει οδηγήσει στην ενίσχυση της ρευστότητας των αντίστοιχων αγορών. Επιτυγχάνεται βέλτιστη εποπτεία, τυποποίηση στις δραστηριότητες συναλλαγών και εκκαθάρισης, καλύτερη διαχείριση του επιχειρηματικού κινδύνου και προώθηση του κοινού πλαισίου εκκαθάρισης των εμπλεκόμενων αγορών (market coupling)

3.2.4.1 EPEXSPOT

Πρόκειται για ένα πλήρως ηλεκτρονικό χρηματιστήριο στο οποίο διενεργούνται ημερήσιες (day ahead) και ενδοημερησιες (intraday) συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ακόλουθοι τομείς της αγοράς (market segments) υπάρχουν σήμερα στο EPEXSPOT:

→ Για τη γαλλική αγορά : Ημερήσιες και Ενδοημερησιες δημοπρασίες με φυσική παράδοση στο γαλλικό δίκτυο μεταφοράς που διαχειρίζεται ο RTE.

→ Για τη γερμανική αγορά: Ενδοημερησιες δημοπρασίες με φυσική παράδοση σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες ζώνες (TSOs zones) : Amprion GmbH, Tennet TSO

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

(transpower stromubertragungs GmbH), 50Hertz Transmission GmbH, EnBW Transportnetz.

→ Για τη γερμανική/αυστριακή αγορά : Ημερήσιες δημοπρασίες με φυσική παράδοση σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες ζώνες : Amprion GmbH, Tennet TSO (transpower stromubertragungs GmbH) , 50Hertz Transmission GmbH, EnBW Transportnetz, Austrian Power Grid.

→ Για την ελβετική αγορά: Ημερήσιες δημοπρασίες με φυσική παράδοση στο ελβετικό δίκτυο μεταφοράς που διαχειρίζεται η Swissgrid.

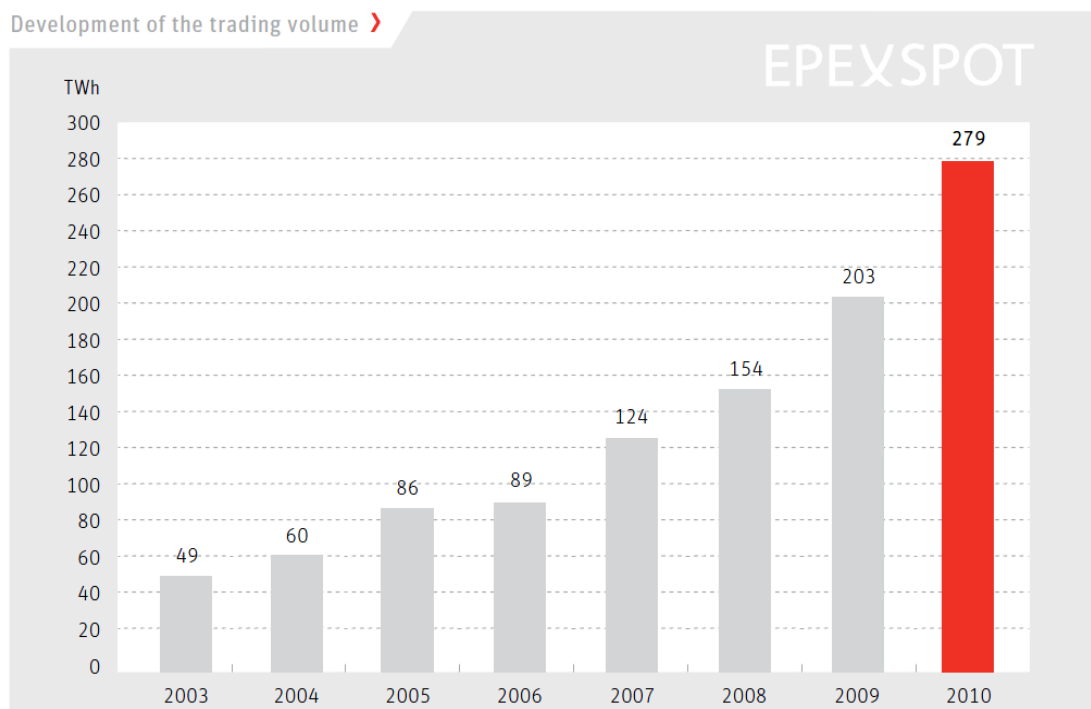


Σχ.13 : Ζώνες διαχειριστών συστήματος μεταφοράς Γερμανίας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Απο το Σεπτέμβριο του 2010, οι δημοπρασίες για όλες τις παραπάνω αγορές διεξάγονται στο ενιαίο σύστημα εμπορικών συναλλαγών ETS (EPEXSPOT Trading System). Η ημερήσια αλλά και η ενδοημερησια δήλωση των φυσικών ποσοτήτων ενέργειας, όπως αυτές προκύπτουν από τις συναλλαγές στο EPEXSPOT, προς το διαχειριστή του αντίστοιχου συστήματος μεταφοράς, διενεργείται κατά την εκκαθάριση των συναλλαγών από την ECC. OTC συναλλαγές μπορούν επίσης να καταχωρηθούν στο σύστημα μόνο για λόγους εκκαθάρισης από την ECC.

Το 2010, συνολικός όγκος 278,7 TWh συναλλάχθηκε στο EPEXSPOT. Από αυτόν 267,4 TWh πουλήθηκαν στην ημερήσια αγορά, ενώ 11,3 TWh στην ενδοημερησια αγορά. Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την εξέλιξη του συνολικού ημερήσιου και ενδοημερησιου όγκου συναλλαγών στη χρηματιστηριακή αγορά EPEXSPOT.



Σχ. 14: Εξέλιξη όγκου συναλλαγών στο EPEXSPOT

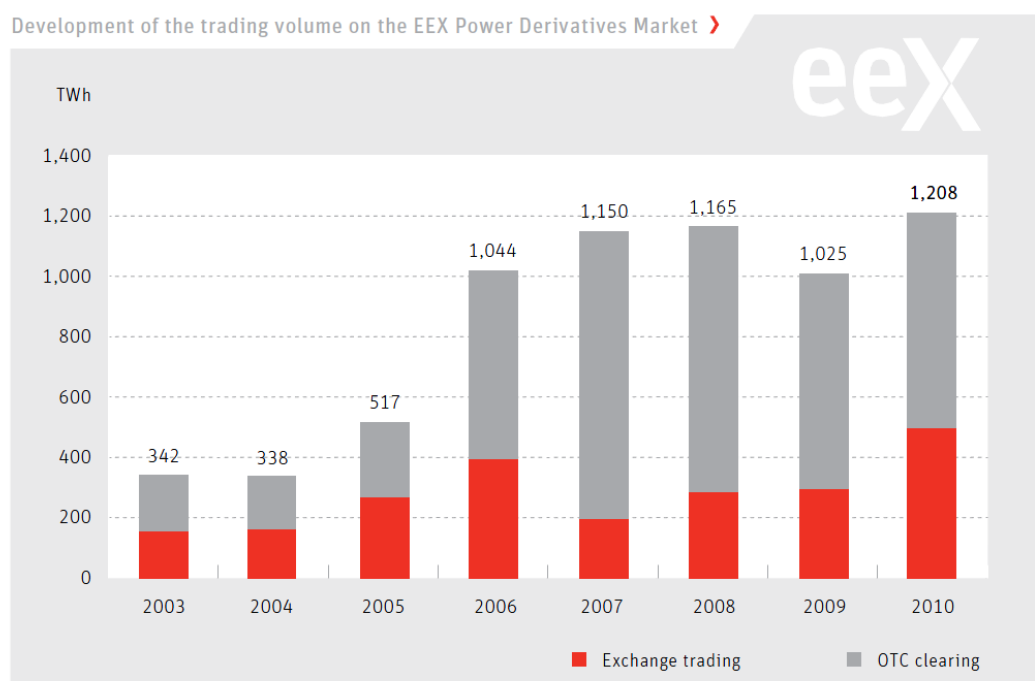
3.2.4.2 EEX Power Derivatives

Πρόκειται επίσης για μια πλήρως ηλεκτρονική χρηματιστηριακή πλατφόρμα στην οποία οι συμμετέχοντες μπορούν να χρησιμοποιήσουν παράγωγα προϊόντα ενέργειας, διαχειριζόμενοι έτσι την έκθεση τους στην αστάθεια των τιμών όψεως. Καλύπτει το γαλλικό και γερμανικό τομέα και σε αυτήν οι Γερμανοί συμμετέχοντες εμπορεύονται οικονομικά και φυσικά συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (financial and physical futures), συμβόλαια

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αγοραπωλησιών εκπομπών ρύπων και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης άνθρακα (coal futures). Όλες οι συναλλαγές παραγωγών προϊόντων εκκαθαρίζονται από την ECC. Επιπρόσθετα, OTC συναλλαγές μπορούν να καταχωρηθούν στο σύστημα και να εκκαθαρίζονται από την ECC.

Στις 31 Δεκεμβρίου 2010, 157 συμμετέχοντες ήταν εγγεγραμμένοι στην αγορά παραγωγών προϊόντων EEX. Το 2010 ο συνολικός όγκος συναλλαγών στην αγορά αυτή ανήλθε στις 1.208 TWh όπως φαίνεται και στο επόμενο διάγραμμα. Από αυτές, οι 712 TWh προέρχονταν από εκκαθαρίσεις διμερών συμβολαίων (OTC).



Σχ.15 : Εξέλιξη όγκου συναλλαγών στο EEX

3.2.4.3 European Commodity Clearing AG (ECC)

Η European Commodity Clearing AG (ECC) είναι ένας οίκος εκκαθαρίσεων χρηματιστηριακών αλλά και διμερών (OTC) συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγών της. Από την ίδρυση της το 2006 επεκτείνει διαρκώς τη γκάμα των προϊόντων της, τα μέλη και τις συνεργασίες της. Επί του παρόντος, η ECC παρέχει υπηρεσίες εκκαθάρισης (φυσικές και οικονομικές εκκαθαρίσεις) στο APX-ENDEX (Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο και Βέλγιο), στο CEGH Gas Exchange του Wiener Borse (Αυστρία), στο EEX (ηπειρωτική Ευρώπη), στο EPEXSPOT, στο HUPX (Ουγγαρία) και στην Powernext. Λειτουργεί βάσει διεθνώς αναγνωρισμένων προτύπων, εποπτεύεται από τη γερμανική ομοσπονδιακή χρηματοπιστωτική αρχή (Federal Financial Supervisory Authority-BaFin) και αποτελεί ένα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεΐσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

εκλεγμένο σύστημα πληρωμών (άρθ. 10 - 98/26/EC). Αγοραστές και πωλητές απολαμβάνουν πλήρη ανωνυμία σε κάθε στάδιο των συναλλαγών.

Η προώθηση στους διαχειριστές του συστημάτων μεταφοράς των εκκαθαρισμένων από τη ECC ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και εκπομπών ρύπων παρέχεται από την European Commodity Clearing Luxembourg S.a.r.l. (ECC Lux), θυγατρική της ECC, με έδρα το Λουξεμβούργο και ημερομηνία ίδρυσης την 1^η Οκτωβρίου του 2009. Η ECC Lux δέχεται τα δεδομένα των εκκαθαρισμένων ποσοτήτων και τα προωθεί στους αντίστοιχους διαχειριστές των συστημάτων μεταφοράς.

Η παροχή αυτοματοποιημένων διαδικασιών εκκαθάρισης σε ένα ευρύ φάσμα αγορών και εμπορευμάτων, μειώνει την τεχνική πολυπλοκότητα των συναλλαγών (από την υποβολή τους μέχρι και την εκπλήρωσή τους) και την οργανωτική προσπάθεια που απαιτείται για την ενεργό συμμετοχή σε διάφορες από τις αγορές.

Επιπλέον, αναφορικά με τη διαχείριση του επιχειρηματικού κινδύνου, η συνεργασία πολλών αγορών και διαφόρων χωρών σε επίπεδο εκκαθάρισης των συναλλαγών ("cross-currency clearing"), πετυχαίνει την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων παροχής εγγυήσεων από μέρους των συμμετεχόντων, οι οποίοι σε τελική ανάλυση απολαμβάνουν το μειωμένο κόστος υπηρεσιών.

Η ECC υιοθετώντας το ρόλο ενός κεντρικού συμβαλλόμενου μέρους για όλες τις συναλλαγές υπολογίζει και μειώνει τον επιχειρηματικό κίνδυνο, μέσω καθημερινού διακανονισμού κερδών/ζημιών και ενός πολυεπίπεδου συστήματος παροχής εγγυήσεων (multilevel margin system) βασισμένο σε τρεις γενικούς πυλώνες.

Πρωταρχικά, η ECC σχετίζεται άμεσα μόνο με Εκκαθαριζόμενα Μέλη (Clearing Members), δηλαδή τράπεζες από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελβετία με ένα ορισμένο ελάχιστο μετοχικό κεφάλαιο, η οικονομική σταθερότητα των οποίων παρακολουθείται συνεχώς.

Δεύτερον, ατομικές εγγυήσεις απαιτούνται για τις "ανοικτές θέσεις" (open positions) των Εκκαθαριζόμενων Μελών. Αυτές υπολογίζονται προκειμένου να καλύψουν πιθανές απώλειες σε περίπτωση χρεοκοπίας ενός Εκκαθαριζόμενου Μέλους, ενώ ένα αμοιβαίο κεφάλαιο, στο οποίο όλα τα Εκκαθαριζόμενα Μέλη καταβάλλουν εισφορές, καλύπτει τον υπόλοιπο κίνδυνο που δεν καλύπτεται από τις ατομικές εγγυήσεις.

Ο τρίτος πυλώνας περιέχει τα Ίδια Κεφάλαια της ECC, τα οποία χρησιμοποιούνται για να καλύψουν οποιοδήποτε υπόλοιπο επιχειρηματικό κίνδυνο παραμένει.

3.3 Επικουρικές Υπηρεσίες Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στο "Δεύτερο πακέτο μέτρων απελευθέρωσης" της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2003/54 EC) που ολοκληρώνει την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, οι επικουρικές υπηρεσίες ορίζονται ως αρμοδιότητα τους εκάστοτε διαχειριστή μεταφοράς του συστήματος. Πρόκειται για συμπληρωματικές πλην απαραίτητες υπηρεσίες για τη λειτουργία του συστήματος όπως είναι η ρύθμιση της συχνότητας, την εφεδρεία πρωτεύουσας ρύθμισης, την ελάχιστη απόδοση κτλ. που υπαγορεύονται από τις απαιτήσεις της UCTE για τη Γερμανία. Πιο αναλυτικά:

3.3.1 Ρύθμιση Συχνότητας & Ρύθμιση Τάσης

Ρύθμιση Συχνότητας (frequency control)

Αναφέρεται στη διατήρηση της συχνότητας εντός των δεδομένων ορίων με συνεχή ρύθμιση της ενεργού ισχύος. Η ηλεκτρική ενέργεια ως γνωστών, δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες με συμβατικά μέσα. Για το λόγο αυτό, σε κάθε χρονική στιγμή, η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι ίση με την καταναλισκόμενη. Η ισορροπία αυτή εγγυάται την ασφαλή λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθερή συχνότητα 50 Hz. Υψηλότερη κατανάλωση σε σχέση με τη παραγωγή οδηγεί σε πτώση της συχνότητας του συστήματος ενώ αντιθέτως υψηλότερη παραγωγή οδηγεί σε ανύψωση της συχνότητας. Απρόβλεπτες διακυμάνσεις μεταξύ της έγχυσης και της απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από/προς το δίκτυο πρέπει να εξισορροπηθούν άμεσα με την ταχεία αύξηση ή μείωση της ισχύος εξόδου των μονάδων που παρέχουν ρύθμιση συχνότητα.

Τεχνικά αυτό επιτυγχάνεται με μια ρυθμιστική διαδικασία τριών σταδίων (πρωτεύουσα, δευτερεύουσα και τριτεύουσα εφεδρεία), στο πλαίσιο του συγχρονισμένου δικτύου UCTE της Ευρώπης.

Ρύθμιση Τάσης (Voltage regulation)

Η τάση ενός κόμβου μπορεί να επηρεαστεί από το ισοζύγιο άεργου ισχύος στο συγκεκριμένο κόμβο. Η τάση του κόμβου αυξάνεται με την έγχυση άεργου ισχύος, ενώ μειώνεται με την κατανάλωση άεργου ισχύος. Έτσι υπάρχει δυνατότητα να εξισωθεί με τη δεδομένη τάση αναφοράς, μέσω ρύθμισης αυτού του ισοζυγίου. Οι ταχείες και τυχαίες διακυμάνσεις (flickering effect) της τάσης διευθετούνται άμεσα με τοπικές ενέργειες στις μονάδες παραγωγής (πρωτεύουσα ρύθμιση τάσης) ενώ οι πιο αργές μεταβολές ρυθμίζονται

από τη δευτερεύουσα ρύθμιση τάσης (περιφερειακή) και την τριτεύουσα ρύθμιση τάσης (εθνική). Κάθε σταθμός παραγωγής στη Γερμανία παρέχει μια ορισμένη υποχρεωτική ποσότητα έργου ισχύος, για τις ανάγκες της πρωτεύουσας ρύθμισης τάσης. Η μονάδα θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να συμμετείχε και στη δευτερεύουσα ρύθμιση τάσης, αν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο των 225KV ή των 400KV.

3.3.1.1 Εφεδρεία Πρωτεύουσας Ρύθμισης

Η **εφεδρεία πρωτεύουσας ρύθμισης (primary control)** αποκαθιστά την ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας εντός λίγων δευτερολέπτων (15-30 δευτερόλεπτα) από την προκύπτουσα παρέκκλιση. Οι παρεκκλίσεις γίνονται αντιληπτές μέσω συνεχούς παρακολούθησης της συχνότητας και όταν προκύπτουν, ενεργοποιείται η πρωτεύουσα εφεδρεία και η συχνότητα επαναφέρεται εντός των επιτρεπτών οριακών τιμών άμεσα. Η ενεργοποίηση γίνεται αυτόματα στους σταθμούς παραγωγής μέσω ρύθμισης των στροβίλων. Όλοι οι διαχειριστές που εκπροσωπούνται στην UCTE πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις της χώρας τους, σύμφωνα με τους κανόνες της UCTE. Η ισχύς της πρωτεύουσας ρύθμισης που πρέπει να διατηρείται σε εφεδρεία ανα πασα στιγμή, προσαρμόζεται ετησίως το Νοέμβριο, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ENTSO-E.

3.3.1.2 Εφεδρεία Δευτερεύουσας Ρύθμισης

Η **δευτερεύουσα εφεδρεία (secondary control)** χρησιμοποιείται για να διατηρήσει τις επιθυμητές ανταλλαγές ενέργειας μιας περιοχής ελέγχου με το υπόλοιπο δίκτυο της UCTE, με ταυτόχρονη εσωτερική (εντός της περιοχής ελέγχου που προκάλεσε τις αποκλίσεις) υποστήριξη για τη διατήρηση της συχνότητας στα 50Hz. Σε περίπτωση απόκλισης παραγωγής - ζήτησης, ενεργοποιείται με κατάλληλο σήμα ελέγχου από τον αντίστοιχο διαχειριστή της ζώνης, η ισχύς της δευτερεύουσας εφεδρείας σε όλους τους κατάλληλους συνδεδεμένους σταθμούς παραγωγής. Ως προϋπόθεση οι μονάδες παραγωγής που θα παρέχουν τη δευτερεύουσα εφεδρεία πρέπει να βρίσκονται σε λειτουργία, αλλά να μην παράγουν την μέγιστη ή ελάχιστη ονομαστική ισχύ τους, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του ρυθμιστή συχνότητας ανα πασα στιγμή. Η δευτερεύουσα εφεδρεία ενεργοποιείται μετά από μερικά λεπτά και συνήθως ολοκληρώνεται μετά από 15 λεπτά. Αν η αιτία των αποκλίσεων δεν εξαλείφεται με το πέρας των 15 λεπτών, η δευτερεύουσα εφεδρεία δίνει τη θέση της στη τριτεύουσα εφεδρεία

3.3.1.3 Εφεδρεία Τριτεύουσας Ρύθμισης

Η **τριτεύουσα εφεδρεία (tertiary control)** χρησιμοποιείται προς "ανακούφιση" της δευτερεύουσας εφεδρείας, προκειμένου να αποκατασταθεί επαρκώς η ποσότητα της δευτερεύουσας εφεδρείας. Η τριτεύουσα εφεδρεία είναι πρωτίστως αναγκαία για τη διαχείριση μεγάλων, επίμονων αποκλίσεων, ιδίως μετά από απρόσμενες βλάβες (outages)

ή απροσδόκητα μεγάλης διάρκειας μεταβολές φορτίου. Η ενεργοποίηση γίνεται από τον αντίστοιχο TSO με τηλεφωνική επικοινωνία και ηλεκτρονική αποστολή ειδικών μηνυμάτων σε συγκεκριμένους προμηθευτές της εφεδρείας.

3.4 Μηχανισμοί Διαχείρισης Διασυνδέσεων μεταξύ των Χωρών

Με το άνοιγμα των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη μέσω της κοινοτικής οδηγίας 96/92 που επιβλήθηκε στις 19 Φεβρουαρίου 1999, κατέστη προφανής η δυσκολία δημιουργίας μιας συμπαγούς ενιαίας αγοράς (με μια ενιαία τιμή). Η ποικιλία του παραγωγικού δυναμικού μεταξύ των χωρων-μελών και η κατάσταση στις διασυνδέσεις, οδήγησε σε περιφερειακές αγορές με συμφορήσεις των διασυνοριακών δικτύων. Ως εκ τούτου, οι ευρωπαϊκές αρχές όρισαν νέους κανονισμούς, που προωθούν μηχανισμούς διαχείρισης των διασυνδέσεων βασισμένους στις αγορές. Στόχος ήταν η αποδοτική χρήση των διασυνδέσεων καθώς και τα κατάλληλα σήματα της αγοράς που δίνουν σωστά κίνητρα για επενδύσεις στην παραγωγή και στη μεταφορά.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ξεκίνησαν να παρατηρούνται αυξανόμενες ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών ανερχόμενες περίπου σε 350 TWh, και έκτοτε συνέχισαν να ενισχύονται ολοένα και περισσότερο. Δυο ήταν οι υπεύθυνοι παράγοντες για αυτή την εξέλιξη, ο ένας τεχνικός και ένας τεχνοοικονομικός.

Πρώτον, η χωροταξική κατανομή των κέντρων φορτίου και των μονάδων παραγωγής είναι ανομοιογενής, και έτσι απαιτείται μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

Δεύτερον, υπάρχει διαφορετικό μείγμα παραγωγικού δυναμικού από χώρα σε χώρα, λόγω διαφορετικών περιβαλλοντικών και πολιτικών συνθηκών. Αποτέλεσμα λοιπόν αυτών είναι η δημιουργία διάφορων επίπεδων τιμών κατά μήκος της Ευρώπης, τα οποία με τη σειρά τους δίνουν οικονομικά κίνητρα για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ εθνικών αγορών.

Παρ' όλα αυτά οι διασυνδέσεις μεταξύ των εθνικών συστημάτων μεταφοράς κατασκευάστηκαν κυρίως για λόγους ασφαλείας και εφεδρειών (back up) και επομένως δεν μπορούσαν να εξυπηρετήσουν μεγάλες ποσότητες ανταλλαγών. Με την πάροδο του χρόνου και πριν το όραμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μια ενιαία αγορά, οι διασυνοριακές ανταλλαγές ενέργειας έγιναν αντικείμενο διαπραγμάτευσης μεταξύ των ιστορικών μονοπωλίων των χωρων στην παραγωγή και την προμήθεια. Κάθε συμβόλαιο συναλλάσσονταν ξεχωριστά και αφορούσε μακροπρόθεσμες χρήσεις των διασυνδέσεων για ανταλλαγές ενέργειας. Η σταθερά όμως αυξανόμενη εμπορική δραστηριότητα στις διασυνδέσεις έθετε ολο και περισσότερους φυσικούς περιορισμούς στη μεταφορά λόγω συμφορήσεων. Ο αρχικός ρόλος των διασυνδετικών γραμμών όφειλε να αλλάξει ριζικά στα πλαίσια του οράματος για μια ενιαία ευρωπαϊκή αγορά. Απαιτήθηκε λοιπόν, ένας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

μηχανισμός για την εκχώρηση της περιορισμένης ικανότητας μεταφοράς των διασυνδέσεων στους συμμετέχοντες της αγοράς και μάλιστα με τρόπο δίκαιο, διάφανη και χωρίς διακρίσεις.

Το 2003, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καθόρισε το νομικό πλαίσιο σχετικά με τους όρους πρόσβασης στο δίκτυο για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας, τονίζοντας την ανάγκη για σχήματα που βασίζονται στην αγορά (market based schemes). Σύμφωνα με τον κανονισμό 1228/2003 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και τη μεταγενέστερη απόφαση 2006/770, οι άμεσες (explicit) ή έμμεσες (implicit) δημοπρασίες αποτελούν μέτρο, προσανατολισμένο στις αγορές, για την εκχώρηση της διαθέσιμης ικανότητας μεταφοράς των διασυνδέσεων στους συμμετέχοντες.

3.4.1 Άμεση Δημοπρασία των Διασυνδέσεων

Πρόκειται για τον ευρύτερα χρησιμοποιούμενο μηχανισμό εκχώρησης της ικανότητας μεταφοράς των διασυνδέσεων στην Ευρώπη, μέχρι τα πρώτα χρόνια του 2000. Στις άμεσες δημοπρασίες ο διαχειριστής του συστήματος (TSO) υπολογίζει τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς (Available Transfer Capacity-ATC), την οποία και δημοπρατεί στους συμμετέχοντες. Οι προσφορές ταξινομούνται βάσει της τιμής τους, και γίνονται δεκτές μέχρι να εξαντληθεί η ικανότητα μεταφοράς. Η τιμή κάθε επιτυχούς προσφοράς μπορεί να είναι ίδια με αυτήν που προσφέρθηκε στη δημοπρασία (pay-as-bid) ή μπορεί και να είναι ίση με τη χαμηλότερη αποδεκτή προσφορά (marginal bid auction). Οι συμμετέχοντες εν συνέχεια, προβλέπουν μια διαφορά τιμών μεταξύ των δυο αγορών δυο χωρών και υποβάλλουν προσφορές έγχυσης για εισαγωγή στη μια και δηλώσεις φορτίου για εξαγωγή στην άλλη (ανάλογα με την αναμενόμενη κατεύθυνση), κάνοντας χρήση των δικαιωμάτων μεταφοράς που απέκτησαν μέσω δημοπρασιών.

Τα δικαιώματα αυτά, γνωστά ως Φυσικά Δικαιώματα Μεταφοράς (Physical Transmission Rights ή PTRs), αφορούν συνήθως διάφορους χρονικούς ορίζοντες (ετήσια, μηνιαία και ημερήσια δικαιώματα) και μπορούν να μεταπωληθούν σε άλλους συμμετέχοντες (συμβόλαια οικονομικής φύσεως).

Το βασικό χαρακτηριστικό του μηχανισμού είναι ότι η ικανότητα μεταφοράς των διασυνδέσεων δημοπρατείται χωριστά και ανεξάρτητα από τις αγορές όπου δημοπρατείται η ηλεκτρική ενέργεια. Δεδομένου ότι τα δυο προϊόντα, ικανότητα μεταφοράς (ΦΔΜ) και η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε δυο ξεχωριστές δημοπρασίες, υπάρχει έλλειψη πληροφοριών των τιμών του ενός ως προς το άλλο. Αυτή η έλλειψη πληροφοριών οδηγεί συχνά σε μη αποδοτική χρήση των διασυνδέσεων (περισσότερες διακρίσεις στη χρήση τους, μικρότερη σύγκλιση τιμών και συχνά ανεπιθύμητες ροές, μερικές φορές ακόμη και προς τη λάθος κατεύθυνση).

3.4.2 Έμμεση Δημοπρασία των Διασυνδέσεων

Με βάση την εντύπωση λοιπόν, ότι οι διαδοχικές δημοπρατήσεις των ΦΔΜ και των αγορών ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν σε μη βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς οι συμμετέχοντες θα πρέπει να προβλέπουν μελλοντικές επιδόσεις της αγοράς (π.χ. για ένα έτος μετά) κατά την απόκτηση των ΦΔΜ, η ιδέα των έμμεσων δημοπρασιών άρχισε να γίνεται πιο ελκυστική. Η βασική αρχή τους είναι ότι τα ΦΔΜ και η ενέργεια δημοπρατούνται ταυτόχρονα. Οι συμμετέχοντες των αγορών δυο ή περισσότερων χωρών αγοράζουν και πωλούν ενέργεια σε μια ενιαία πλατφόρμα, ενώ ο λειτουργός της αγοράς και οι διαχειριστές των χωρών έμμεσα (implicitly) διασφαλίζουν ότι η ικανότητα μεταφοράς των διασυνδέσεων είναι επαρκής για να εξασφαλιστεί η πραγματοποίηση των συναλλαγών.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι έμμεσες δημοπρασίες έγιναν τελικά η προτιμώμενη επιλογή για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ενέργειας στον κανονισμό 714/2009 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Στις έμμεσες δημοπρασίες ουσιαστικά επιτυγχάνεται η σύζευξη των αγορών όψεως (spot market) των διάφορων χωρών, ώστε να μεγιστοποιηθεί το συνολικό κοινωνικό όφελος. Σε πρώτη φάση, η ικανότητα μεταφοράς των διασυνδέσεων διατίθεται από τους διαχειριστές των συστημάτων στο λειτουργό της αγοράς όψεως, ο οποίος εν συνέχεια σε συνδυασμό με τις προσφορές έγχυσης/δήλωσης φορτίου υπολογίζει τις τιμές της ενέργειας για κάθε εμπλεκόμενη περιοχή και τις ροές στις διασυνδέσεις. Έτσι, η δημοπράτηση των ΦΔΜ περιλαμβάνεται (έμμεσα) στις καθημερινές δημοπρασίες των αγορών. Οι προκύπτουσες τιμές ανα περιοχή με αυτόν τον τρόπο αντανακλούν τόσο το κόστος της παραγόμενης ενέργειας όσο και το κόστος της συμφόρησης των διασυνδετικών γραμμών. Το έμμεσο αυτό κόστος χρήσης των διασυνδέσεων εκκαθαρίζεται στην τελική διαφορά των τιμών των συζευγμένων αγορών. Εάν κανένας περιορισμός δεν ενεργοποιείται στις διασυνδέσεις, τότε δεν υπάρχει διαφορά τιμών μεταξύ των αγορών και το έμμεσο κόστος χρήσης των διασυνδέσεων είναι μηδενικό.

Οι έμμεσες δημοπρασίες διασφαλίζουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια ρέει από τις πλεονασματικές περιοχές (περιοχές με χαμηλή τιμή) προς τις ελλειμματικές περιοχές (περιοχές με υψηλή τιμή), γεγονός που οδηγεί σε σύγκλιση τιμών. Οι έμμεσες δημοπρασίες αναφέρονται συνήθως είτε ως "market coupling", εάν δυο ή περισσότερα εθνικά χρηματιστήρια ενέργειας συζευγνύουν τις αγορές τους, είτε ως "market splitting", αν ένα χρηματιστήριο ενέργειας χωρίζει μια περιοχή σε διάφορες ζώνες τιμών σε περίπτωση συμφόρησης μεταξύ τους. Δεν υπάρχει εξ ανάγκης οποιαδήποτε διαφορά των αλγόριθμων υπολογισμού ή των κανόνων που εφαρμόζονται στο market coupling και στο market splitting. Αυτό που τα διαφοροποιεί, είναι ο χειρισμός του αλγόριθμου και ποια αποτελέσματα των κεντρικών υπολογισμών χρησιμοποιούνται από τις τοπικές αγορές στη συνέχεια.

3.4.2.1 Market Splitting

Στο market splitting, η έμμεση δημοπράτηση των ΦΔΜ διενεργείται εντός της ημερήσιας αγοράς από ένα και μόνο χρηματιστήριο ενέργειας. Για παράδειγμα στην περιοχή της Σκανδιναβίας, το χρηματιστήριο NordPool Spot εκτελεί market splitting μεταξύ των σκανδιναβικών περιοχών. Μερικές φορές η ικανότητα μεταφοράς μεταξύ των περιοχών αυτών δεν είναι αρκετή για να οδηγήσει σε πλήρη σύγκλιση τιμών και έτσι προκύπτουν διαφορετικές τιμές για τις διάφορες περιοχές. Συνεπώς, ο όρος "splitting" αναφέρεται ακριβώς σ' αυτό τον διαχωρισμό των περιοχών μια ευρύτερης αγοράς, λόγω περιορισμένης ικανότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ τους.

3.4.2.2 Market Coupling

Στο market coupling η έμμεση δημοπρασία οργανώνεται από κοινού μεταξύ δυο ή περισσότερων χρηματιστηρίων ενέργειας. Έτσι, ο όρος "coupling" αναφέρεται στη σύζευξη αυτών των χρηματιστηρίων (ή αλλιώς στο κοινό πλαίσιο εκκαθάρισης των αγορών τους). Κάθε χρηματιστήριο υποβάλλει τα δεδομένα της δικής του αγοράς (χώρας) σε έναν κεντρικό αλγόριθμο σύζευξης. Οι διαχειριστές των συστημάτων μεταφοράς παρέχουν τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς στις διασυνδέσεις. Ο κεντρικός αλγόριθμος υπολογίζει τις ροές μεταξύ των περιοχών, όσο και τις τιμές κάθε περιοχής (αγοράς). Οι ροές που προκύπτουν χρησιμοποιούνται περαιτέρω στην τοπική επίλυση της αγοράς κάθε χρηματιστηρίου ξεχωριστά, αλλά είναι επίσης πιθανό κάθε τοπική αγορά να υιοθετεί απευθείας και τις τιμές του κεντρικού αλγόριθμου σύζευξης.

Οι γενικές υποκατηγορίες του market coupling, βάσει ακριβώς των δεδομένων του κεντρικού υπολογισμού που υιοθετούνται από κάθε τοπική αγορά, είναι η "σύζευξη τιμών" (price coupling) και η "σύζευξη ποσοτήτων" (volume coupling) των αγορών.

3.4.2.2.1 Price Coupling

Στο price coupling όλα τα δεδομένα και οι κανόνες των συζευγμένων αγορών εισέρχονται στον κεντρικό αλγόριθμο σύζευξης. Ο κεντρικός αλγόριθμος καθορίζει τις τιμές στις συζευγμένες περιοχές και τις καθαρές ροές μεταξύ αυτών. Όλες αυτές οι πληροφορίες εν συνέχεια, υιοθετούνται από κάθε χρηματιστήριο ενέργειας, το οποίο με τη σειρά του καταλήγει στο πρόγραμμα των συμμετεχόντων της δικής του αγοράς, βάσει των τιμών και των προσφορών που έγιναν δεκτές από τον κεντρικό αλγόριθμο.

3.4.2.2.2 Tight Volume Coupling

Στο tight volume coupling (σύζευξη ποσοτήτων) οι ίδιες εισοδοί δεδομένων των επιμέρους χρηματιστηρίων απαιτούνται για τον υπολογισμό του κεντρικού αλγόριθμου, όπως και στο price coupling. Ωστόσο, μόνο οι υπολογιζόμενες ροές μεταξύ των περιοχών υιοθετούνται από κάθε χρηματιστήριο ενέργειας, το οποίο στη συνέχεια υπολογίζει τις τιμές της δικής του αγοράς ξεχωριστά, βάσει όμως των ροών στις διασυνδέσεις που έδωσε ο κεντρικός αλγόριθμος. Δεδομένου λοιπόν ότι οι τιμές καθορίζονται από κάθε χρηματιστήριο σε δεύτερη φάση, το volume coupling μπορεί να οδηγήσει σε ελαφρώς διαφοροποιημένες ροές ή σε αποκλίσεις τιμών από αυτές του κεντρικού αλγόριθμου. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε μικρές διάφορες των αλγόριθμων (διαφορετικοί κανόνες κάθε αγοράς) ή στην πληρότητα των δεδομένων κάθε αγοράς που παραδίδονται στον κεντρικό αλγόριθμο σε πρώτη φάση. Το σκεπτικό πίσω από τη χρήση του tight volume coupling αντί του price coupling είναι ότι συχνά δεν είναι δυνατόν να συζευχθούν αγορές και ταυτόχρονα να ληφθούν υπόψη ολοι οι κανόνες των αγορών για όλες τις συζευγμένες περιοχές. Το volume

coupling από πολλούς θεωρείται ένα βήμα προς την πιο συμπαγή ολοκλήρωση των αγορών, με τελικό στόχο την εφαρμογή ενός κοινού price coupling για μεγαλύτερες περιφέρειες.

Η εφαρμογή αυτών των κοινών πλαισίων εκκαθάρισης περιφερειακών αγορών μαζί με την ενίσχυση των δικτύων διασυνδέσεων των χωρών, αναμένεται να οδηγήσει στην πραγματική υλοποίηση μια ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς. Αφαιρούνται οι περιττοί κίνδυνοι ξεχωριστής δημοπράτησης των ΦΔΜ και καθαυτής της ενέργειας, βελτιστοποιείται η αξιοποίηση των διασυνδέσεων και αποφεύγονται καταχρηστικές πρακτικές, καθώς η διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς δε μπορεί να συσσωρεύεται σε συγκεκριμένους πόλους της αγοράς. Όλοι οι συμμετέχοντες μπορούν να επωφεληθούν από τις διασυνοριακές ανταλλαγές ενέργειας και έτσι ενισχύεται η ρευστότητα των εμπλεκόμενων αγορών.

3.5 Μηχανισμοί Στήριξης των ΑΠΕ

Πολλές βιομηχανικές χώρες ξεκίνησαν προγράμματα ανάπτυξης ΑΠΕ, ήδη από την ενεργειακή κρίση του 1970, αλλά οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου εμποδίσαν την εξάπλωση τους σε μεγάλη εμπορική κλίμακα. Το 1997, η Ευρωπαϊκή Ένωση δημοσίευσε ένα χάρτη ("White Paper") κοινοτικής στρατηγικής για την επίτευξη ποσοστού 12% ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Η απόφαση υπαγορεύθηκε από τις ανησυχίες για την ασφάλεια της παραγωγής και την προστασία του περιβάλλοντος. Ο στόχος του 12% εγκρίθηκε με ευρωπαϊκή οδηγία το 2001, καθώς οι νομοθετικές πρωτοβουλίες αποτέλεσαν τη βάση της ΕΕ για την τήρηση των δεσμεύσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Εντούτοις, οι στόχοι δεν ήταν δεσμευτικοί και έγινε γρηγορά εμφανές ότι δεν τηρούνταν. Τον Ιανουάριο του 2007, η Επιτροπή δημοσίευσε εκ νέου σαφές πρόγραμμα που έθετε ως υποχρεωτικό στόχο, τη συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ έως το 2020.

Συμπληρωματικά, τον Απρίλιο του 2009 εξέδωσε οδηγία, η οποία διασαφηνίζει την πορεία κάθε κράτους μέλους για την επίτευξη αυτού του στόχου και τέλος το Μάρτιο του 2010 παρουσίασε τη στρατηγική "Ευρώπη 2020" ενσωματώνοντας στην πολιτική της συγκεκριμένους κλιματικούς στόχους.

Ποικίλοι είναι οι μηχανισμοί στήριξης των ΑΠΕ που εμφανίστηκαν στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια, πολλές φορές μάλιστα ακολουθώντας πρότυπα που εμφανίστηκαν εκτός των συνόρων της. Όλοι αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν μέτρα πρόσβασης των ΑΠΕ στο δίκτυο και ανάδειξης μια τιμής για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η οποία να συμβάλλει στην κερδοφορία. Επειδή οι ΑΠΕ είναι επιχειρήσεις εντάσεως κεφαλαίου και απαιτούνται μεγάλες χρονικές περίοδοι για τις αποσβέσεις και την επιστροφή κέρδους, οι εφαρμοζόμενες πολιτικές περιλαμβάνουν τη βούληση για ικανοποιητική απόδοση των επενδυμένων κεφαλαίων. Δυο γενικές κατηγορίες μηχανισμών στήριξης των ΑΠΕ εφαρμόζονται στην Ευρώπη: τα Ποσοτικά Συστήματα (Quota or Amount Systems) και τα Συστήματα Τιμών (Price Systems). Στα μεν Ποσοτικά Συστήματα η επιθυμητή ποσότητα

παραγωγής ΑΠΕ καθορίζεται πολιτικά και η αγορά ρυθμίζει τη τιμή, στα Συστήματα Τιμών, η τιμή καθορίζεται πολιτικά και η αγορά ρυθμίζει τις ποσότητες

3.5.1 Ποσοτικά Συστήματα

3.5.1.1 Συστήματα Μειοδοτικών Διαγωνισμών

Τα συστήματα μειοδοτικών διαγωνισμών (Tendering Systems) δεν είναι τίποτα άλλο, περα από προκήρυξη διαγωνισμών για την παροχή συγκεκριμένης ποσότητας παραγωγής ΑΠΕ. Οι νικητές (βάσει της φθηνότερης προσφοράς) συνάπτουν μακροπρόθεσμες συμβάσεις παραγωγής με τον φορέα του διαγωνισμού, αποκτούν πρόσβαση στο δίκτυο και πληρώνονται στην τιμή της προσφοράς. Τέτοιοι διαγωνισμοί έχουν μεγάλη ιστορία σε δημόσια έργα, κυρίως δε σε μεγάλα έργα αιολικής ενέργειας. Το βρετανικό πρόγραμμα "Non Fossil Fuel Obligation" και το γαλλικό "Eole" αποτέλεσαν τέτοιες περιπτώσεις, έχουν όμως σήμερα εγκαταληφθεί, αν και ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις διεξάγονται διαγωνισμοί για μεγάλα αιολικά έργα.

3.5.1.2 Πράσινα Πιστοποιητικά

Τα πράσινα πιστοποιητικά (Green Certificates), από την άλλη, επιβάλλουν μια υποχρεωτική ποσότητα ανανεώσιμης ενέργειας στο portfolio κάθε παραγωγού. Ο παραγωγός υποχρεούται να παραδώσει ένα συγκεκριμένο ποσοστό της παραγωγής τους, π.χ. 10%, από ΑΠΕ, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, ενώ συχνά υπάρχει ποινή ένα δεν γίνει κάτι τέτοιο. Σε αυτά τα συστήματα, η παραγωγή των ΑΠΕ αντανακλάται σε "πράσινα πιστοποιητικά" που συναλλάσσονται μεταξύ προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προμηθευτές που δε δύναται ή που επιλεγούν να μην εγκαταστήσουν δική τους μονάδα ΑΠΕ, μπορούν να ανταποκριθούν στην "υποχρέωση" τους αγοράζοντας πιστοποιητικά από εκείνους που έχουν πλεόνασμα. Οι συναλλαγές πιστοποιητικών είναι ηλεκτρονικές και συνήθως ένα πιστοποιητικό αντιπροσωπεύει 1MWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμων πηγών. Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν τα πράσινα πιστοποιητικά ως μέσο ενίσχυσης των ΑΠΕ στα πλαίσια των αγορών τους, όπως για παράδειγμα η Πολωνία, η Σουηδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία και το Βέλγιο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η εφαρμογή του μηχανισμού των πράσινων πιστοποιητικών στην Ευρώπη

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

	UK	Belgium (Flemish region)	Belgium (Wallon-region)	Italy	Poland	Sweden
Period	Start 2002	Start 2002	Start 2002	Start 2001	Start 2005	Start 2003
Obligation	3% in 2003, 10.4% in 2010	1.2% (2003), 2% (2004) increasing up to 6% in 2010	3% in 2003 increasing up to 12% in 2010 From September 2010 onward, the quota will be multiplied by 1.01	2% in 2002 and increased annually by 0.35% between 2004 and 2008	7.5% in 2010	7.4% in 2003, 16.9% in 2010
Obligation on Technology bands within overall quota	Supplier No	Supplier No	Supplier No	Producers and importers No	Supplier No	End-user No
Involved technologies	Small hydro****, wind, biomass, solar -, geothermal energy, no waste	All renewables, no solid municipal waste	All renewables and high quality CHP	All new renewables (incl. large hydro, MSW, CHP)	Small and large hydro, wind, biomass	Small hydro (<1.5 MW), large hydro (only some cases), wind, biomass, geothermal, wave
Existing plants eligible	No	Yes	Yes	No (for certificate trade), Yes (for quota fulfilment)	No	Yes (small hydro)
International trade allowed	No	No	No	Yes, but only in exchange with physical electricity and with reciprocity countries	No	Trading scheme with Norway planned
Floor price	Not planned.	At federal level: from 1st of July 2003 onward the grid operator is obliged to buy TGC issued anywhere in Belgium for the minimum prices per 1 MWh) of: offshore wind 90€, onshore wind 50€, hydro: 50€, solar: 150€, biomass: 20€ Within the Wallon-region, RES-E producers may exchange their TGC for a subsidy of 65 €.		Not planned	No	Only in the introductory phase.
Penalty	Buy-out price £30,51/MWh (for 2003/2004) (~ 45€/MWh)	75€/MWh (in 2003; 10€/MWh in 2004; and 125€/MWh in 2005	From 1st of April 2003 onward: 100€/MWh (100€ per missing TGC in size of 1 MWh)	No. The grid operator sells certificates at a fixed price 12,528€/MWh (2006)	The buy-out price is 100 EUR/MWh	150% of the market price with a maximum of about 19€/MWh in 2004, 26€/MWh in 2005

Πίνακας 5 : Εφαρμογή μηχανισμού πράσινων πιστοποιητικών στην Ευρώπη

3.5.2 Συστήματα Τιμών

3.5.2.1 Συστήματα Τιμών

Τα Feed in Tariffs (συμβάσεις σταθερής τιμής πληρωμής), που παρουσιάστηκαν στην Ευρώπη από το γερμανικό κοινοβούλιο το 1991, παρέχουν τα δυο βασικά στοιχεία για έναν επιτυχημένο μηχανισμό στήριξης, δηλαδή πρόσβαση στο δίκτυο και μια τιμή σχεδιασμένη να οδηγήσει σε κερδοφορία ανάπτυξη, με τη χρήση μακροπρόθεσμων συμβάσεων για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η τιμή για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ καθορίζεται πολιτικά με ανοιχτό, δημόσιο και διάφανη τρόπο και είναι σταθερή. Προκύπτει από την ανάλυση βιομηχανικών δεδομένων από διάφορους εμπλεκόμενους φορείς, συμπεριλαμβανομένων ακαδημαϊκών (μηχανικοί και οικονομολόγοι) και συμβούλων. Οι τιμές επιλέγονται έτσι ώστε να παράγουν τον επιθυμητό ρυθμό ανάπτυξης των ΑΠΕ (στους οποίους συμπεριλαμβάνονται οι ιδιοκτήτες κατοικιών και επιχειρήσεις), πληρώνονται σε αυτή τη σταθερή τιμή για το σύνολο της ενέργειας που παράγουν, μέσω μακροπρόθεσμων συμβολαίων (15-25 έτη), τα οποία διατίθενται άκριτα σε όλους τους ενδιαφερόμενους. Οι

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

δημόσιοι φορείς υποχρεούνται να αγοράζουν την ηλεκτρική ενέργεια και μάλιστα με προτεραιότητα εις βάρος των συμβατικών παραγωγών. Ορίζονται διαφορετικές τιμές για διαφορετικές τεχνολογίες ΑΠΕ, βάσει του κόστους παραγωγής κατά περίπτωση. Στη Γερμανία, οι προκαθορισμένες τιμές πληρωμής για κάθε ανανεώσιμη τεχνολογία φθίνουν με τον καιρό δίνοντας έτσι οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και καινοτομίες στις υπάρχουσες.

Το σύστημα αυτό βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες όπως στις: Γερμανία, Γαλλία, Αυστρία, Βέλγιο, Ελλάδα, Κύπρος, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Πορτογαλία, Ισπανία, Σουηδία και Ελβετία. Η σύγχρονη εκδοχή αυτού του συστήματος είναι τα Advanced Renewable Tariffs, που καθορίζονται βάσει πληθώρας δεδομένων πέραν της τεχνολογίας των ΑΠΕ, όπως το μέγεθος τους, η εφαρμογή τους, η τοποθεσία τους και η διάρκεια κατά την οποία κάθε μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην Βόρεια Ευρώπη.

3.5.2.2 Σύστημα των Premiums

Τέλος υπάρχουν και υβριδικοί μηχανισμοί στήριξης, όπως τα Συστήματα Επιχορήγησης (Bonus Systems) της Δανίας. Οι ανεμογεννήτριες πληρώνονται στις τιμές χονδρικής και επιπροσθέτως λαμβάνουν μια επιχορήγηση, που αντιπροσωπεύει την περιβαλλοντική αξία των υπηρεσιών τους. Συχνά, αυτές οι επιχορηγήσεις προσέρχονται από το δημόσιο ταμείο ή από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς φόρους.

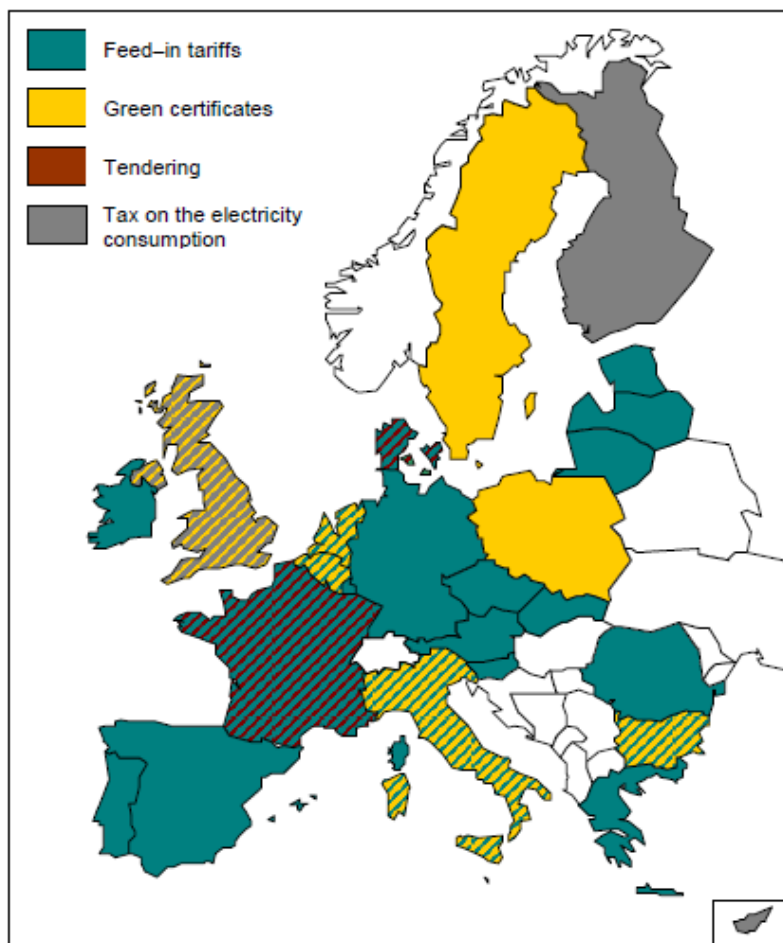
Οι βασικότεροι μηχανισμοί προώθησης των ΑΠΕ απεικονίζονται συγκεντρωτικά και στον παρακάτω πίνακα:

		Price-driven	Quantity-driven
Regulatory	Investment focused	<ul style="list-style-type: none"> • Investment subsidies • Tax credits • Low interest/Soft loans 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendering system for investment grant
	Generation based	<ul style="list-style-type: none"> • (Fixed) Feed-in-tariffs • Fixed Premium system 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendering system for long-term contracts • Tradable Green Certificate system
Voluntary	Investment focused Generation based	<ul style="list-style-type: none"> • Shareholder Programs • Contribution Programs • Green tariffs 	

Πίνακας 6: Βασικότεροι μηχανισμοί προώθησης ΑΠΕ

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το σύστημα των Feed in Tariffs έχει αποδειχτεί ο πιο επιτυχημένος μηχανισμός για τόνωση και προώθηση των επενδύσεων σε ΑΠΕ παγκοσμίως, οδηγώντας σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ ανανεώσιμων πηγών. Το 2008, μια λεπτομερής ανάλυση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι " ... Σωστά προσαρμοσμένα Feed in Tariffs είναι γενικώς ο αποδοτικότερος μηχανισμός για την προώθηση των ΑΠΕ". Η επόμενη εικόνα (Σχ.16) απεικονίζει τις κύριες πολιτικές στήριξης των ΑΠΕ στην Ευρώπη, όπως αυτές υιοθετήθηκαν από τα κράτη-μέλη μέχρι και το τέλος του 2010.



Σχ. 16: Μηχανισμός στήριξης ΑΠΕ στην Ευρώπη

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

*Κεφάλαιο 4^ο: Αιολική Διείσδυση
στη Γερμανία & Μηχανισμός
Στήριξης EEG*

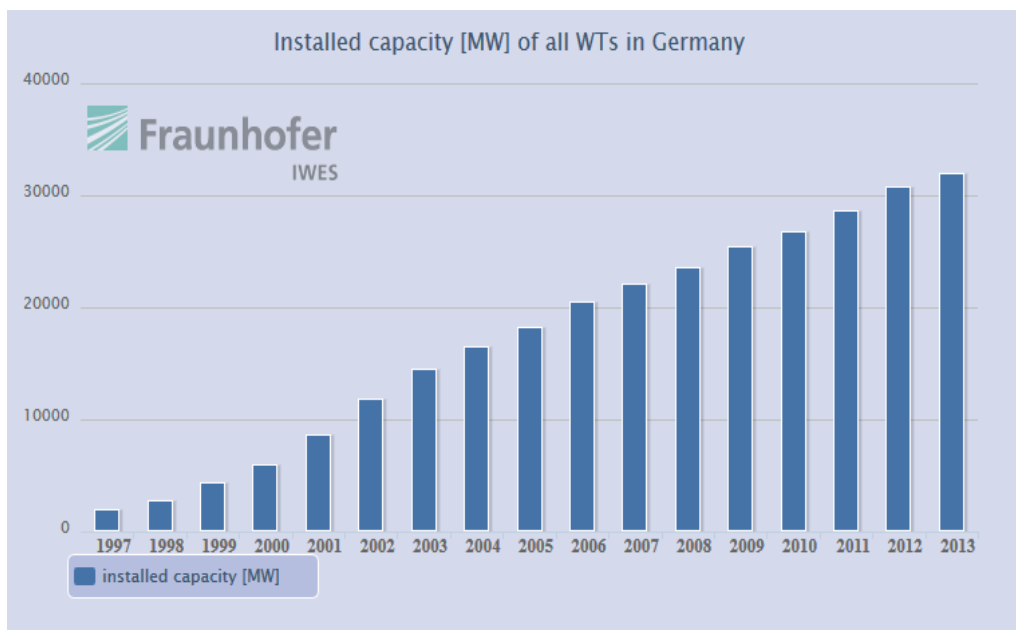
**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

4.1 Δεδομένα Εξέλιξης Αιολικής Διείσδυσης στη Γερμανία

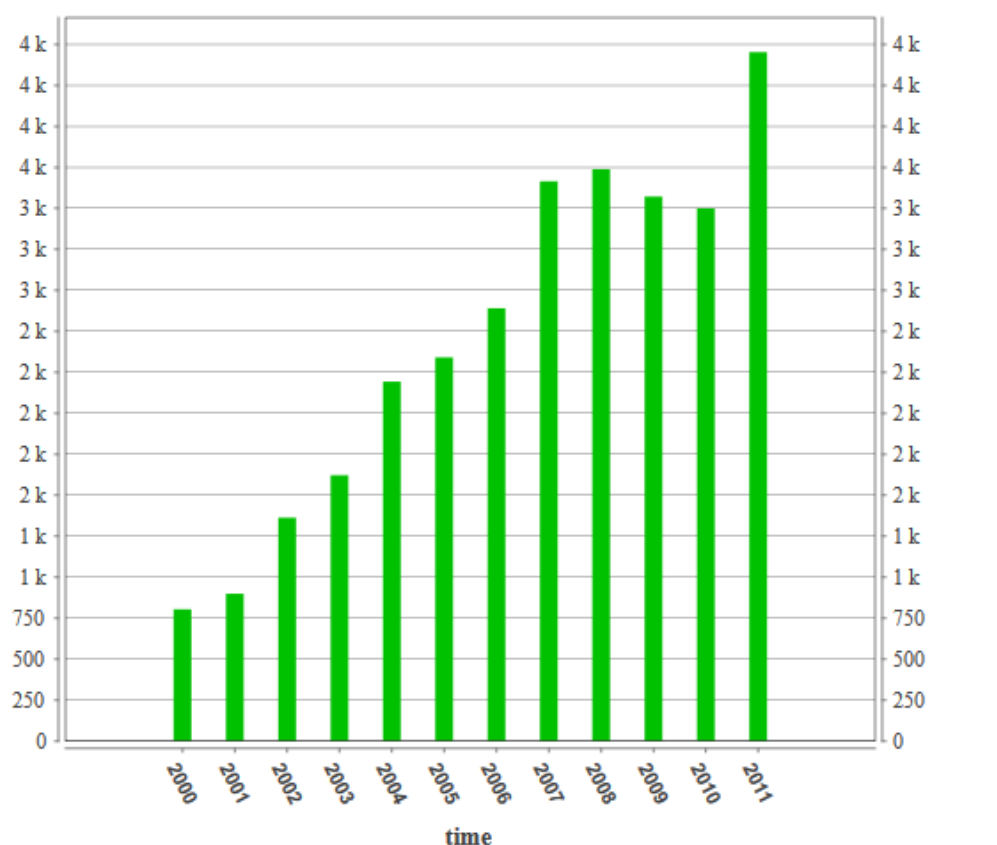
Στο σημείο αυτό θα γίνει μια ανάλυση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται τη στιγμή αυτή η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ενέργειας της Γερμανίας. Είναι πολύ σημαντική αυτή η ποσοτικοποίηση ώστε να αντιλαμβανόμαστε τον όγκο των μεγεθών που θα αναλύσουμε παρακάτω έχοντας ως μελέτη περίπτωσης την Γερμανία. Επίσης αποτελεί και μια επαλήθευση της πρόκρισης του μηχανισμού στήριξης σταθερών πληρωμών ως τον πιο επιτυχημένο τρόπο προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία. Επίσης στο δεύτερο σκέλος αυτού του κομματιού της εργασίας γίνεται μια εξειδικευμένη παρουσίαση του μηχανισμού στήριξης EEG της Γερμανίας. Αναδεικνύονται οι επιλογές που υπάρχουν για την σύνδεση των παραγωγών αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύτιμα για την αξιολόγηση και παραμετροποίηση στην οικονομική ανάλυση που ακολουθεί.

Η αιολική ενέργεια είναι η δεύτερη μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται και ουσιαστικά η πρώτη εάν θεωρήσουμε ότι σε μεγάλο βαθμό ο μηχανισμός λειτουργίας των πάρκων υδροηλεκτρικής ενέργειας μοντελοποιείται όπως των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Τόσο σε εγκατεστημένη ισχύ όσο και σε συνολική αποδιδόμενη ισχύ κατά τη διάρκεια ενός έτους η αιολική ενέργεια μπορεί να συγκριθεί πλέον με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Στη Γερμανία είναι εγκατεστημένη περίπου το 30% της συνολικής αιολικής εγκατεστημένης ισχύος της Ευρώπης και το 12% της παγκόσμιας αιολικής εγκατεστημένης ισχύος. Στο τέλος του 2012, η συνολική αιολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται στα 31.331 MW. Κύριος μοχλός ανάπτυξης του γερμανικού αιολικού ενεργειακού τομέα ήταν τα χερσαία αιολικά πάρκα. Επίσης, μέχρι το τέλος του 2012 περίπου 22.972 πάρκα περίπου εγκαταστάθηκαν στη Γερμανία. Τώρα οι ομοσπονδιακές αρχές αξιολογούν περαιτέρω χερσαίες εκτάσεις διαθέσιμες για ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Παράλληλα, γίνεται ανανέωση των υπαρχουσών τεχνολογιών καθώς συνολικά 252 τουρμπίνες αντικαταστάθηκαν από 161 μοντέρνες multi-megawatt class αιολικές τουρμπίνες το 2012. Η Wind Energy Association (BWE) αναμένει ετήσια αγορά τάξεως 1 GW (EUR 1,5 billion turnover) για το 2013. Η μη-χερσαία αιολική αγορά αναμένεται να αναπτυχθεί αντιστοίχως. Περίπου 280 MW μη-χερσαίας εγκατεστημένης αιολικής ισχύς είχε εγκατασταθεί στη Γερμανία μέχρι το τέλος του 2012. Ακόμα 7 μη-χερσαία αιολικά πάρκα είναι υπο κατασκευή με περίπου 440 αιολικές τουρμπίνες (περίπου 1.900 MW) και συνολικά 29 μη-χερσαία αιολικά πάρκα πήραν αδειοδότηση για κατασκευή μέχρι το τέλος του 2012.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



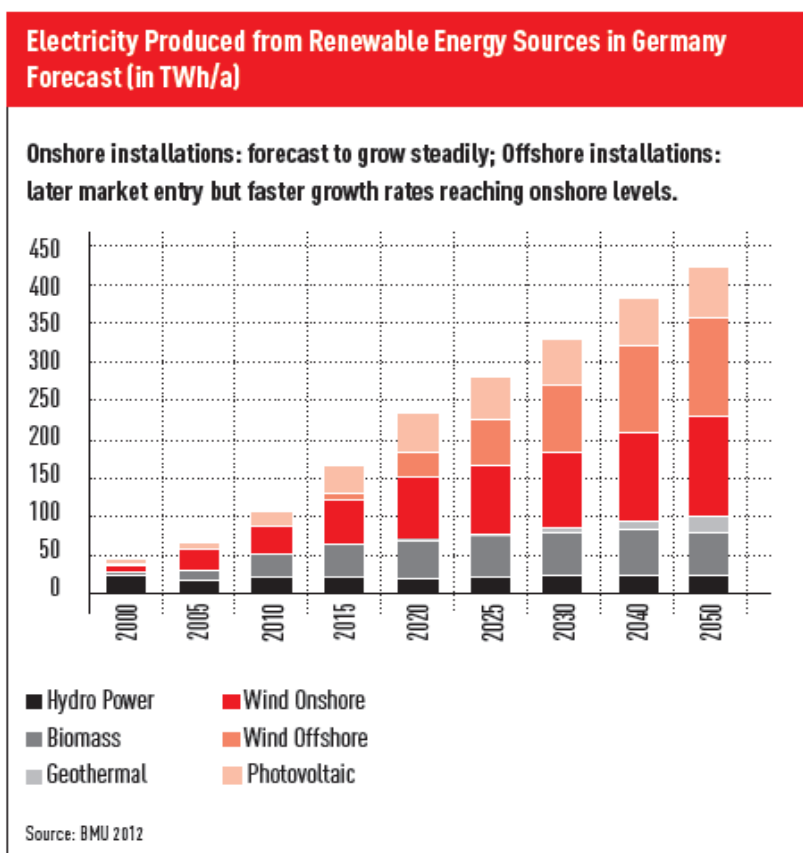
Σχ.17 : Εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στη Γερμανία



Σχ. 18 : Εξέλιξη της ετήσιας αιολικής παραγωγής στη Γερμανία σε ΤΙΠ

4.2 Προβλέψεις για Μελλοντική Αιολική Διείσδυση στη Γερμανία

Η εξέλιξη αυτή όπως διαμορφώθηκε τα προηγούμενα χρόνια οδήγησε στην αναπροσαρμογή του ενεργειακού μείγματος της χώρας. Η ενεργειακή πίτα λοιπόν μεταβλήθηκε και οι ισορροπίες μεταξύ των διάφορων ενεργειακών πηγών άλλαξαν. Μετα την απόφαση του 2011 για την σταδιακή εγκατάληψη της πυρηνικής ενέργειας μέχρι το 2022, η ενέργεια προερχόμενη από ανανewόμενες πηγές αιολικής ενέργεια έφτασε το 23% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας στο τέλος του 2012. Η αιολική ενέργεια ήταν το 8% της συνολικής κατανάλωσης και άρα ακρογωνιαίος λίθος τόσο του ανανεώσιμου ενεργειακού μείγματος όσο και της συνολικής ενεργειακής πίτας. Οι προβλέψεις θέλουν την συνολική γερμανική εγχώρια παραγωγή αιολικής ενέργειας να είναι το 25% της συνολικής μέχρι το 2025. Το σχέδιο υποστήριξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζεται στην Γερμανία, το γνωστό Renewable Energy Act (EEG), διασφαλίζει ένα σταθερό και επενδυτικά θελκτικό πλαίσιο ώστε να υλοποιηθούν αυτοί οι στόχοι. Έτσι, σύμφωνα με την German Wind Energy Association (BWE), η αιολική εγκατεστημένη ισχύς στη Γερμανία θα φτάσει τα 45.000 MW χερσαία και 6.000-7.000 MW μη- χερσαία μέχρι το 2020.



Σχ.19 : Πρόβλεψη της εξέλιξης της παραγωγής ΑΠΕ στη Γερμανία

4.3 Στοιχεία για το Renewable Energy Act

4.3.1 Εγγυημένες Τιμές Πληρωμών

Το Renewable Energy Sources Act (EEG) αποτέλεσε ένα ελκυστικό και εγγυημένο σύστημα σταθερών πληρωμών (Feed-in Tariffs) για 20 χρόνια. Από το 2000 η νομοθετική αυτή πρωτοβουλία έχει δημιουργήσει τη βάση για την έντονη εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Γερμανία προσφέροντας ένα ασφαλές επενδυτικό περιβάλλον.

Wind Energy Electricity Feed-in Tariffs 2013

	Onshore	Offshore
Year of commissioning	2013	2013
Initial tariff	8.80 EUR ct/kWh Minimum first 5 years	15.0 EUR ct/kWh Minimum first 12 years or 19.0 EUR ct/kWh first 8 years
Final tariff	4.80 EUR ct/kWh	3.5 EUR ct/kWh
Bonus: "Repowering"	0.49 EUR ct/kWh	-
Bonus: "Net integration"	0.47 EUR ct/kWh	-
Annual degression for later commissioning date	1.5%	0% From 2018: 7%

Source: Renewable Energy Sources Act (EEG) 2012,
Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety 2012

Πίνακας 7 : Εγγυημένες τιμές πληρωμών για αιολικούς παραγωγούς για το 2013 στη Γερμανία

4.3.1.1 Χερσαίες Εγγυημένες Τιμές Πληρωμών

Το εφελτήριο για τη ανάπτυξη της Γερμανικής αγοράς ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κερδοφορία αιολική ενέργεια ως αποτέλεσμα των φιλόδοξων κυβερνητικών πρωτοβουλιών, και του EEG ειδικότερα. Η αρχική ταρίφα των 8.8 cents (EUR) ανα kWh πληρώνεται τουλάχιστον για 5 χρόνια. Αυτή η περίοδος προεκτείνεται ανάλογα με την

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

τοποθεσία και τη σχετική απόδοση. Έπειτα η τελική ταρίφα των 4.8cents (EUR) ανα kWh πληρώνεται για το υπόλοιπο διάστημα. Το EEG ακόμα προσφέρει bonuses 0.47 cents (EUR) ανα kWh για βελτιωμένη ενσωμάτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο και 0.49 cents (EUR) ανα kWh για ανανέωση των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών αιολικής παραγωγής δίνοντας έτσι έμφαση στην τεχνολογική καινοτομία και εξέλιξη. Για εγκαταστάσεις που μεταπωλούνται το προσεχή χρόνια οι ταρίφες και τα bonuses θα μειώνονται κατά 1.5% κάθε έτος.

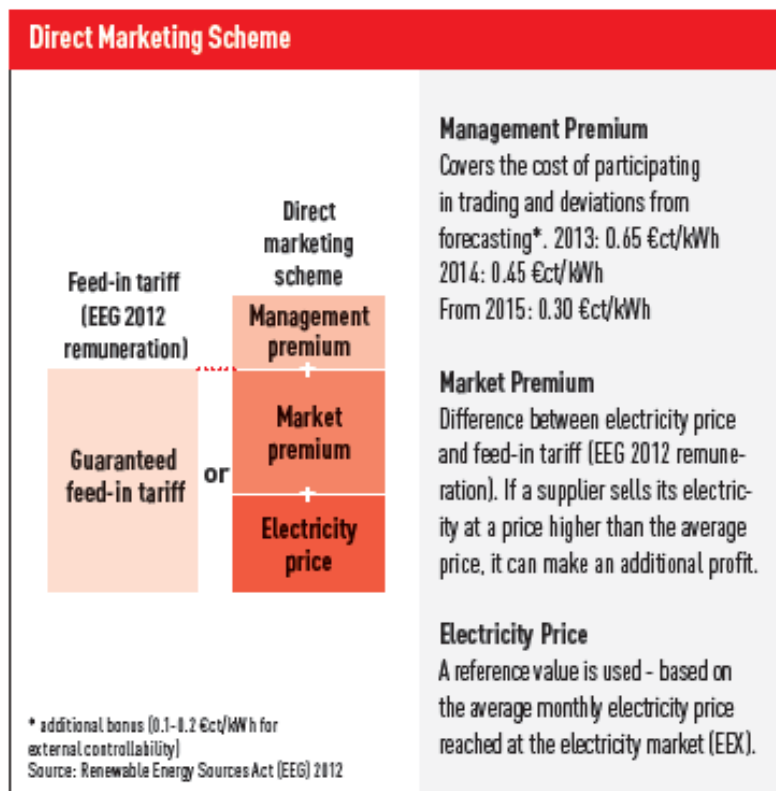
4.3.1.2 Υπεράκτιες Εγγυημένες Τιμές Πληρωμών

Η 20-ετής ταρίφα που εγγυάται το EEG είναι ίση με 15 cents (EUR) για τα πρώτα 12 χρόνια ή 19 cents (EUR) για τα πρώτα 8 χρόνια και η επέκταση της ταρίφας εξαρτάται από την τοποθεσία. Οσο μεγαλύτερο το υδάτινο βάθος της αιολικής τουρμπίνας και όσο μακρύτερα από την ακτή είναι τοποθετημένη τόσο μεγαλύτερη διάρκεια έχει η υψηλότερη αρχική ταρίφα πληρωμών. Έπειτα από την εκπνοή των παραπάνω χρονικών διαστημάτων η τιμή που πληρώνονται οι αιολικοί παραγωγοί είναι 3.5 cents (EUR) ανα kWh. Η ετήσια ποσοστιαία μείωση των πληρωμών και των bonuses για τον ηλεκτρισμό που παράγεται από μη χερσαίες αιολικές εγκαταστάσεις θα είναι 7 % και θα ξεκινήσει από το 2018 και έπειτα (commissioning date).

4.3.2 Μηχανισμός Απευθείας Σύνδεσης στην Αγορά

Προκειμένου να βελτιωθεί η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας τόσο στην αγορά όσο και στο δίκτυο, κίνητρα έχουν δοθεί από το EEG για απευθείας αγοραπωλησίες της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτή έχει περιγράψει αναλυτικά παραπάνω. Από το 2012 και εφεξής, οι παραγωγοί μπορούν πλέον να εμπορευτούν απευθείας την ηλεκτρική τους ενέργεια στο ενεργειακό χρηματιστήριο, αγνοώντας τις σταθερές ταρίφες. Οι παραγωγοί που επιλεγούν να πράξουν έτσι πλέον θα εισπράττουν την τιμή που προκύπτει από την αγορά και ένα επιπλέον ποσό για τη συμμετοχή τους στην αγορά (market and management premium). Έτσι ουσιαστικά θα συμμετέχουν στην εκάστοτε αγορά (βλέπε day ahead market) και θα είναι πλέον κομμάτι της καμπύλης προσφοράς (merit order curve).

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Πίνακας 8: Μηχανισμός απευθείας σύνδεσης στην αγορά (EEG 2013)

*Κεφάλαιο 5^ο: Επιπτώσεις της
Αιολικής Διείσδυσης στο Επίπεδο
των Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μεχρι στιγμής είδαμε αρχικά τις βασικές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, τις ιδιαιτερότητες της καθεμίας καθώς και τους βασικούς μηχανισμούς με τους οποίους εκμεταλλευόμαστε την καθεμία. Ωστόσο, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην αιολική ενέργεια, για την οποία έγινε εκτενέστερη ανάλυση αφενός των πλεονεκτημάτων, που είναι μάλλον προφανή, αλλά και των μειονεκτημάτων. Ως βασικά μειονεκτήματα ανεδείχθησαν κάποια τεχνικά ζητήματα που προκύπτουν σε μεγάλο ποσοστό διείσδυσης της αιολικής ενέργειας χωρίς όμως να είναι σε καμία περίπτωση ανυπέρβλητα.

Έπειτα, διεξήχθη μια ανάλυση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε πρακτικό συγκεκριμένα για την Γερμανία που αποτελεί το βασικό παράδειγμα και μελέτη περίπτωσης αυτής της εργασίας. Το χρηματιστήριο ενέργειας αναλύθηκε δίνοντας έμφαση στους μηχανισμούς καθορισμού της τιμής αλλά και σε όλες τις σειριακές διεργασίες που επιτελούνται και οδηγούν από την πρόθεση για υλοποίηση συναλλαγών μεταξύ παραγωγών και αγοραστών στην εκτέλεση των οικονομικών συμβολαίων και την φυσική παράδοση της ηλεκτρικής ενέργειας στους τελικούς αγοραστές. Δίνεται μεγάλη έμφαση στο χρηματιστήριο ενέργειας, επειδή, όπως είδαμε και παραπάνω στα Σχ. 14 και Σχ.15, είναι καλπάζουσα η αύξηση της ενέργειας που συναλλάσσεται στο χρηματιστήριο και όχι over the counter. Επίσης, οι τιμές που προκύπτουν από το χρηματιστήριο ενέργειας είναι τιμές βάσης για όλους τους άλλους μηχανισμούς συναλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας επομένως η μοντελοποίηση και εξήγηση των φαινομένων που δημιουργούνται στο χρηματιστήριο ενέργειας με την διείσδυση της αιολικής ενέργειας, δίχως βλάβη της γενικότητας, ισχύουν και για τους υπόλοιπους μηχανισμούς.

Ύστερα, έγινε μια ανάλυση και σύγκριση των μηχανισμών επιδότησης και διαχείρισης ΑΠΕ. Έχει καταστεί σαφές ότι το σύστημα των σταθερών τιμών πληρωμών (FIT) για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί τον ισχυρότερο αρωγό για την εξάπλωση των ΑΠΕ. Από οικονομικής σκοπιά, αλλά συστήματα στήριξης φαίνεται να είναι πιο οικονομικά αλλά περισσότερο αβέβαια ως προς το μέγεθος της επίπτωσης που θα έχουν στην ενίσχυση των ΑΠΕ. Επίσης, δεδομένου ότι ο μηχανισμός στήριξης της Γερμανίας έχει ως κορμό τα feed in tariffs (EEG), αυτός θα είναι ο βασικός μηχανισμός στήριξης που θα υιοθετήσουμε στην ανάλυση μας, αν και σε περιπτώσεις θα γίνει αναφορά και σε άλλα συστήματα στήριξης. Τέλος, έγινε μια παρουσίαση της εξέλιξης των ΑΠΕ και ιδίως της αιολικής ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στη Γερμανία, καθώς και τα στοιχεία της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη συνολικά για το 2012.

Αυτό συμβαίνει, ώστε να δοθεί μια αίσθηση και ποσοτικοποιημένη ματιά για την αυξανόμενη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στις Ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι θα γίνει πλήρως αντιληπτή, η ουσία των οικονομικών επιπτώσεων από την εξέλιξη αυτή, τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πλέον θα προχωρήσουμε στην ανάλυση των επιπτώσεων στη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, που έχει η μεγέθυνση του ποσοστού της αιολικής ενέργειας στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι επιπτώσεις αυτές διαφοροποιούνται καταρχήν με δυο τρόπους:

- Επιπτώσεις στο μέσο επίπεδο τιμών (Price Level)
- Επιπτώσεις στην διακύμανση και στοχαστικότητα των τιμών σε σχέση με το μέσο επίπεδο τιμών (Price Volatility)

Αυτή η αρχική κατηγοριοποίηση είναι πολύ σημαντική γιατί ενδεχομένως ίδιες αιτίες να δημιουργούν συνέπειες που ταυτόχρονα να είναι θετικές αλλά και αρνητικές εξεταζόμενες από διαφορετική οπτική.

Επίσης, θα πρέπει να είναι ξεκάθαρη η διάκριση μεταξύ των:

- Τιμών Χονδρικής (Wholesale Price)
- Τιμών Λιανικής (Retail Price)

Στη παρούσα εργασία όταν αναφερόμαστε σε τιμές θα αναφερόμαστε σε τιμές χονδρικής εκτός και αν εξηγείται διαφορετικά. Η σχέση μεταξύ αυτών των δυο τιμών είναι πάρα πολύ σημαντική και αποτελεί μείζον σημείο της ανάλυσης. Οι διαφορετικοί μηχανισμοί στήριξης, στους οποίους αναφερθήκαμε εκτενώς προηγουμένως, ορίζουν διαφορετικές σχέσεις ανάμεσα σε αυτές τις δυο τιμές, ανάλογα με τον τρόπο που καταναίμουν το κόστος της στήριξης των ΑΠΕ στους τελικούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο, ακόμα και για τον ίδιο μηχανισμό στήριξης, ο τρόπος εφαρμογής μπορεί να διαφέρει από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα μπορεί μια χώρα να επιλέγει να μην καταναίμει στο κόστος του μηχανισμού στήριξης των FIT σε όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά σε όλους τους φορολογούμενους πολίτες μέσω ενιαίου φόρου ή ακόμα και με διαφορετικό φόρο ανάλογα με τον εισόδημα του καθενός. Όμως εκτενέστερη αναφορά και περιγραφή της σχέσης της τιμής χονδρικής με την τιμή λιανικής θα γίνει αργότερα στην παρούσα εργασία.

Ακόμα, και οι δυο κατηγορίες επιπτώσεων, τόσο στο μέσο επίπεδο τιμών όσο και η διακύμανση και η διασπορά γύρω από το μέσο επίπεδο τιμών, μπορούν να διακριθούν σε:

- Βραχυχρόνιες επιπτώσεις
- Μακροχρόνιες επιπτώσεις

Είναι κατανοητό ότι οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις αναφέρονται στα αριθμητικά, στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν για τα μεγέθη αυτά για διάστημα ενός ή ορισμένων χρόνων. Για παράδειγμα, υπάρχει συγκεκριμένος όγκος διείσδυσης αιολικής ενέργειας κάποιο έτος και παρατηρούμε τη σύγκριση τόσο μέσω θεωρητικής ανάλυσης όσο και εμπειρικής μελέτης της μέσης τιμής, της διακύμανσης, της διασποράς και άλλων στατιστικών εργαλείων σε σχέση με περασμένα έτη όπου απουσίαζε ο νεοεισηχθής όγκος

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αιολικής ενέργειας. Όμως, οι μακροχρόνιες επιπτώσεις αναφέρονται στις αργές μεταβολές που επιτελούνται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των αθροιστικών βραχυπροθέσμων επιπτώσεων. Όταν αναφερόμαστε στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε το portfolio των συμβατικών και ανανεώσιμων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, τα επίπεδα ζήτησης και τα χαρακτηριστικά της καμπύλης ζήτησης, τις διασυνδέσεις μεταξύ χωρών και πολλά αλλά συστατικά στοιχεία που συναποτελούν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μακροχρόνιες μεταβολές είναι εξαιρετικά σημαντικές τόσο από μόνες τους για την βιωσιμότητα και τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας αλλά επίσης διότι οδηγούν και οι ίδιες σε περαιτέρω μεταβολές που ενισχύουν τις υπάρχουσες. Ο τρόπος με τον οποίο οι μακροχρόνιες μεταβολές ενισχύουν τις αιτίες που τις προκάλεσαν θα γίνει σαφής παρακάτω.

Τέλος, ο τρόπος που δημιουργούνται και η εξήγηση των επιπτώσεων της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας διαχωρίζουν τις επιπτώσεις με έναν ακόμη τρόπο:

- Άμεσες Επιπτώσεις
- Έμμεσες Επιπτώσεις

Οι πρώτες χαρακτηρίζονται άμεσες γιατί δημιουργούνται μέσα από τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας του χρηματιστηρίου ηλεκτρικής ενέργειας και είναι απολυτές σαφές πως το αίτιο οδηγεί στο αποτέλεσμα σχεδόν ακαριαία. Από την άλλη, οι έμμεσες επιπτώσεις οφείλονται σε περιφερειακούς μηχανισμούς που αλληλοεπιδρούν με το τρόπο που διεξάγονται οι συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, από το πρίσμα αυτό, εκ παραδρομής οδηγεί η αιολική διείσδυση στις συνέπειες που δημιουργούνται. Πιο αναλυτικά:

5.1 Άμεση Επίπτωση της Διείσδυσης της Αιολικής Ενέργειας στο Επίπεδο των Τιμών

5.1.1 Γραφική Ανάλυση

Καταρχήν, όπως είδαμε παραπάνω, ο λειτουργός του χρηματιστηρίου λαμβάνει για κάθε ώρα όλες τις προφορές πωλήσεων καθώς και τις προσφορές αγοράς από τους συμμετέχοντες στο χρηματιστήριο ενέργειας και τις ταξινομεί σε αύξουσα και φθίνουσα σειρά αντίστοιχα. Έτσι δημιουργεί την καμπύλη προσφοράς και την καμπύλη ζήτησης για

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

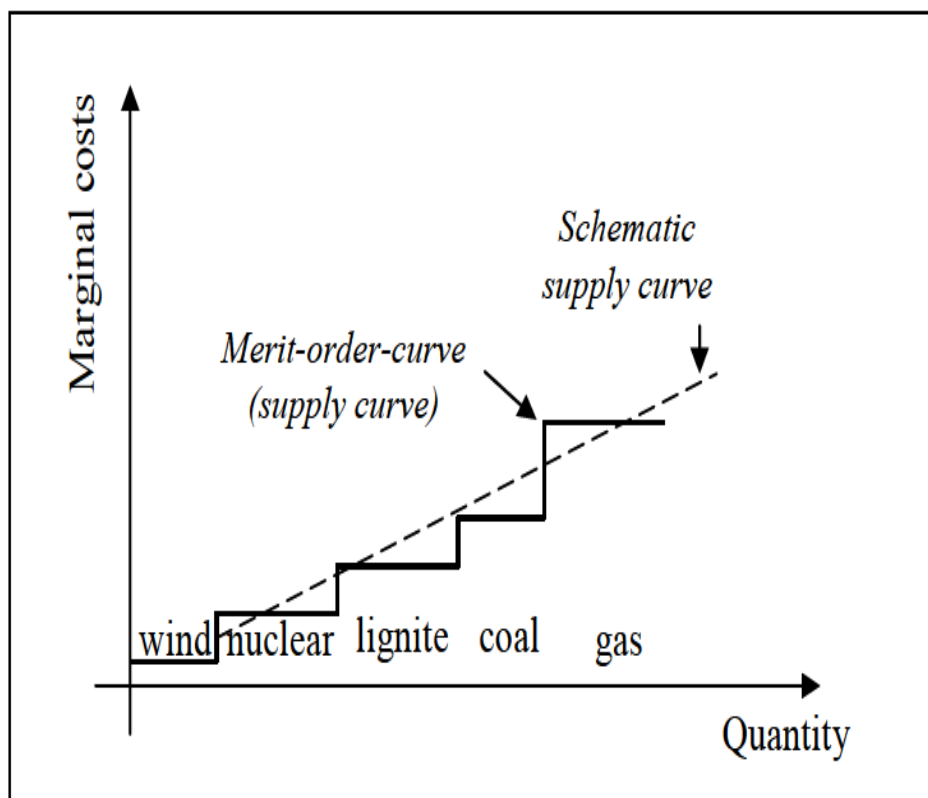
κάθε ώρα. Η συμβολή των δυο καμπυλών επομένως καθορίζει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά. Η καμπύλη προσφοράς δημιουργείται από τις προσφορές διαφορετικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε τύπος εργοστασίου έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως είναι το κόστος της εγκατάστασης και αρχικής επένδυσης, το σταθερό κόστος παραγωγής, το οριακό κόστος παραγωγής, ο τύπος του καυσίμου, το μέγεθος της εγκατάστασης κ.α. Το οριακό κόστος παραγωγής (marginal cost) είναι το κόστος που αντιλαμβάνεται ο παραγωγός για την παραγωγή μιας επιπλέον μονάδας ενέργειας (συνήθως MWh/euro ή KWh/euro).

Όπως είδαμε παραπάνω οι στρατηγικές τοποθετήσεις προσφορών είναι ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα. Ο τρόπος που θα κινηθούν οι παίκτες της αγοράς δεν είναι προκαθορισμένος καθώς διαρκώς ολοι προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τη θέση τους. Ωστόσο, για τους ενεργούς συμμετέχοντες- παραγωγούς, ο τρόπος λειτουργίας των δημοπρασιών που ορίζουν την τιμή της αγοράς δημιουργεί ισχυρό κίνητρο ώστε να προσφέρουν την ενέργεια τους στην τιμή του οριακού της κόστους. Αυτό ισχύει διότι οι παραγωγοί δεν έχουν κανένα λόγο να ζητήσουν μεγαλύτερη τιμή. Αυτή είναι η χαμηλότερη τιμή που μπορούν να προσφέρουν χωρίς να υπόκεινται ζημιά από κάθε παραπάνω KWh που πωλούν. Όμως, δεν πρόκειται να πληρωθούν την τιμή στην οποία προσέφεραν αλλά θα πληρωθούν την οριακή τιμή του συστήματος. Έτσι, βελτιστοποιούν την πιθανότητα να επιλέγουν στο μείγμα των παραγωγών που τελικά θα ικανοποιήσει τη ζήτηση, κερδοφορώντας από τη διαφορά μεταξύ της τιμής εκκαθάρισης της αγοράς (ΟΤΣ) και της τιμής του οριακού κόστους του καθενός στην οποία προσέφεραν. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η καμπύλη προσφοράς κάθε ώρας ουσιαστικά είναι η αύξουσα ταξινόμηση των οριακών κοστών των παραγωγών που είναι διασυνδεδεμένοι στο σύστημα εκείνη την ώρα.

Οι αιολική ενέργεια, η οποία διεισδύει στο σύστημα είναι ευρέως γνωστό ότι έχει μηδενικό ή ελάχιστο οριακό κόστος παραγωγής. Συνεπώς, όταν εισέρχεται ο όγκος της αιολικής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα, τοποθετείται αντίστοιχα στην αρχή της καμπύλης προσφοράς δηλαδή χαμηλότερα από τις προσφορές των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Στο παρακάτω Σχ.20 φαίνεται μια θεωρητική καμπύλη παραγωγής βασισμένη στο οριακό κόστος παραγωγής των διαφορετικών τύπων εργοστασίων.

Επιπλέον, αν και φαντάζει λογικό σύμφωνα με όσα έχουν ειπωθεί να τοποθετείται η αιολική ενέργεια σε αυτό το σημείο της καμπύλης παραγωγής, πολλοί μηχανισμοί στήριξης όπως το EEG της Γερμανίας απαιτούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να έχουν προτεραιότητα και να απορροφώνται πρώτα εις βάρος των συμβατικών τρόπων παραγωγής (υπάρχουν προβλέψεις για εξέχουσες περιπτώσεις όπου αυτό ο κανονισμός δεν ισχύει οι οποίες θα αναλυθούν αργότερα).

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ. 20 : Τυπική αθροιστική καμπύλη προσφοράς

Συνεπώς, η τοποθέτηση της ποσότητας της αιολικής ενέργειας στην αρχή της καμπύλης προσφοράς μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά. Άλλωστε η συνολικά προσφερόμενη ποσότητα πλέον αυξήθηκε σύμφωνα με τον νεοεισηχθέντα όγκο της αιολικής παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς με την καμπύλη ζήτησης θα αλλάξει και ένα νέο σημείο ισορροπίας θα επιτευχθεί. Το νέο σημείο ισορροπίας βρίσκεται σε μια νέα χαμηλότερη τιμή. Πλέον η τελευταία προσφορά που γίνεται δεκτή από τον λειτουργό της αγοράς θα είναι κάποιου παραγωγού με χαμηλότερο οριακό κόστος. Τα εργοστάσια παραγωγής που έχουν υψηλότερο οριακό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την νέα οριακή τιμή του συστήματος πλέον έχουν οδηγηθεί έξω από την αγορά.

Το δυαδικό ισοδύναμο αυτής της διαδικασίας είναι να θεωρήσουμε ότι η επιπλέον αιολική ενέργεια η οποία διεισδύει στο σύστημα καταλαμβάνει ένα ποσό από την προυπάρχουσα ζήτηση. Έτσι, μόνο η υπολειπόμενη ζήτηση είναι αυτή που θα καλυφθεί στο χρηματιστήριο ηλεκτρικής ενέργειας. Άρα ισοδύναμα, αντί να μετατοπιστεί η καμπύλη παραγωγής προς τα δεξιά, αντιλαμβανόμαστε την καμπύλη ζήτησης να μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Η μετατόπιση προς τα αριστερά είναι ίση με το ποσό της ζήτησης που πλέον καλύπτεται από την αιολική ενέργεια που διεισδύει στο σύστημα. Πάλι με αυτή τη προσέγγιση, το σημείο

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

τομής μεταξύ της καμπύλης προσφοράς και της καμπύλης ζήτησης αλλάζει και ένα νέο σημείο ισορροπίας επιτυγχάνεται. Ομοίως η πλεονάζουσα πλέον ενέργεια που προσέφεραν οι παραγωγοί ενέργειας με υψηλά οριακά κόστη μένει απούλητη και οι παραγωγοί αυτοί βρίσκονται εκτός αγοράς.

Η διαδικασία αυτή φαίνεται χαρακτηριστικά μέσα από τα Σχ.21, Σχ.22 και Σχ.23 που δείχνουν τις αντίστοιχες προσεγγίσεις που αναλύθηκαν παραπάνω. Η καμπύλη προσφοράς έχει προφανώς θετική κλίση και είναι κυρτή δηλαδή η τιμή των προσφορών των παραγωγών αυξάνεται μη γραμμικά με την συνολική αθροιστική ποσότητα της προσφερόμενης ενέργειας.

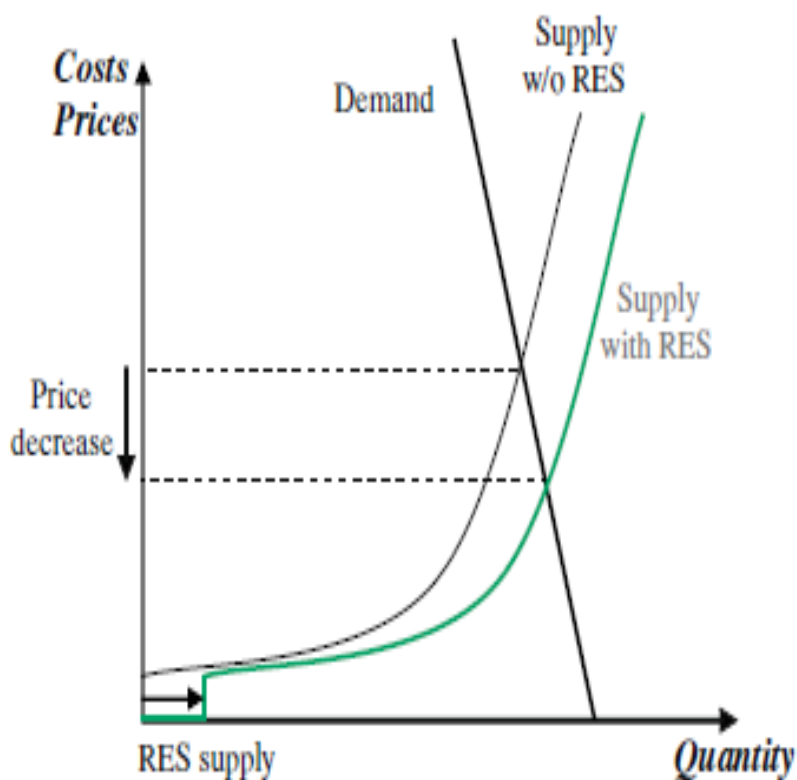
Στα χαμηλά επίπεδα παραγωγής η καμπύλη προσφοράς είναι σχεδόν σταθερή ενώ στα υψηλά επίπεδα παραγωγής είναι εκθετική. Αυτό συμβαίνει διότι στο κάτω μέρος τη καμπύλης προσφοράς υπάρχει πληθώρα πυρηνικών εργοστασίων και μεγάλων λιγνιτών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν παρεμφερή χαμηλά οριακά κόστη παραγωγής.

Επίσης, στα πολύ υψηλά επίπεδα της καμπύλης παραγωγής υπάρχουν λίγα εργοστάσια που, επειδή απαιτούν μεγάλη ευελιξία και λειτουργούν λίγες ώρες κάθε έτος, έχουν υψηλά και διακριτά οριακά κόστη παραγωγής και υπάρχουν για περιπτώσεις ανάγκης. Όμως, τις περισσότερες ώρες του έτους η καμπύλη προσφοράς δεν βρίσκεται σε τέτοια ακραία επίπεδα παραγωγής.

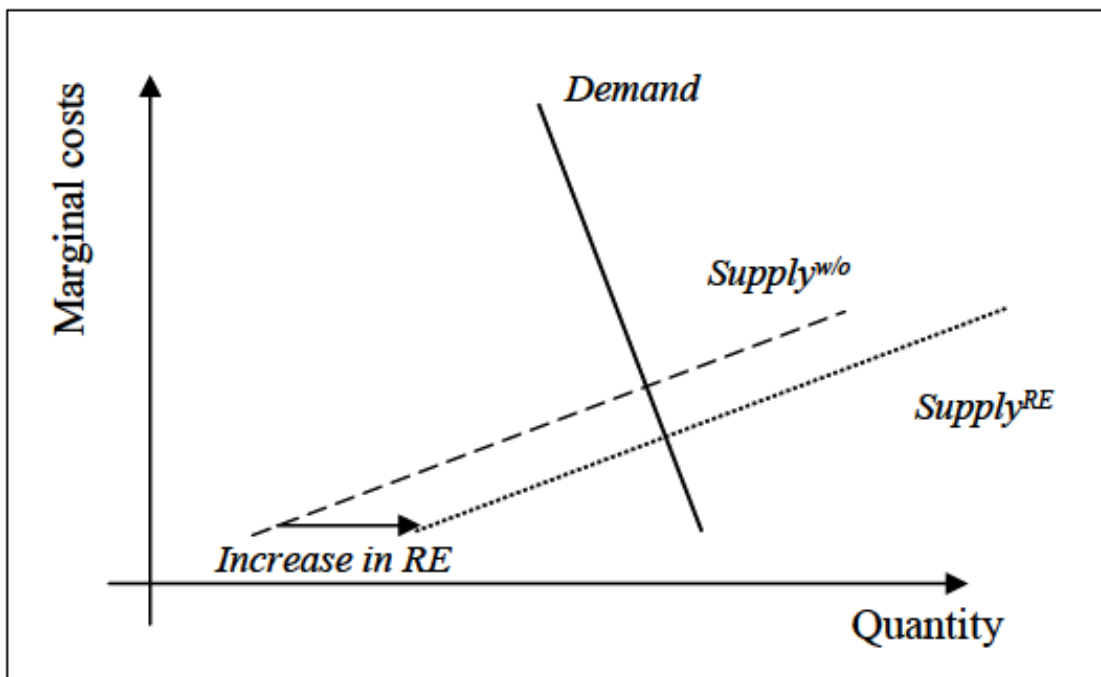
Αντιθέτως, σε μεσαία επίπεδα παραγωγής η καμπύλη προσφοράς συμπεριφέρεται γραμμικά. Σε τέτοια επίπεδα παραγωγής βρίσκεται σε ισορροπία τις περισσότερες ώρες τον χρόνο αγορά. Επομένως, εφόσον μας ενδιαφέρει η μέση τιμή που προκύπτει μέσα ένα έτος ή μικρότερα χρονικά διαστήματα, ώστε να μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις, μπορούμε να υποθέσουμε γραμμική καμπύλη παραγωγής δίχως βλάβη της γενικότητας. Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι η κατασκευή και η μορφή της καμπύλης παραγωγής διαφέρει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται από το σύνολο των ενεργειακών παραγωγών που δραστηριοποιούνται σε κάθε χώρα.

Τέλος, παρατηρούμε ότι έχει θεωρηθεί μια καμπύλη ζήτησης με πολύ αρνητική κλίση. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η ζήτηση είναι αρκετά ανελαστική. Οι περισσότεροι καταναλωτές δεν παρακολουθούν τις μεταβολές των τιμών στο χρηματιστήριο ενέργειας ώστε να προσαρμόζουν τις την κατανάλωση του, με εξαίρεση ορισμένους μεγάλους καταναλωτές όπως είναι διάφορες βιομηχανίες κτλ. Επομένως, παρότι η ίδια η ζήτηση παρουσιάζει διαρκώς αρκετά μεγάλες μεταβολές, το ποσό της ζήτησης μένει μάλλον ανεπηρέαστο από τις μεταβολές των τιμών. Παρόλα αυτά η ελαστικότητα της ζήτησης θα εξεταστεί ως παράμετρος ευαισθησίας αργότερα.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

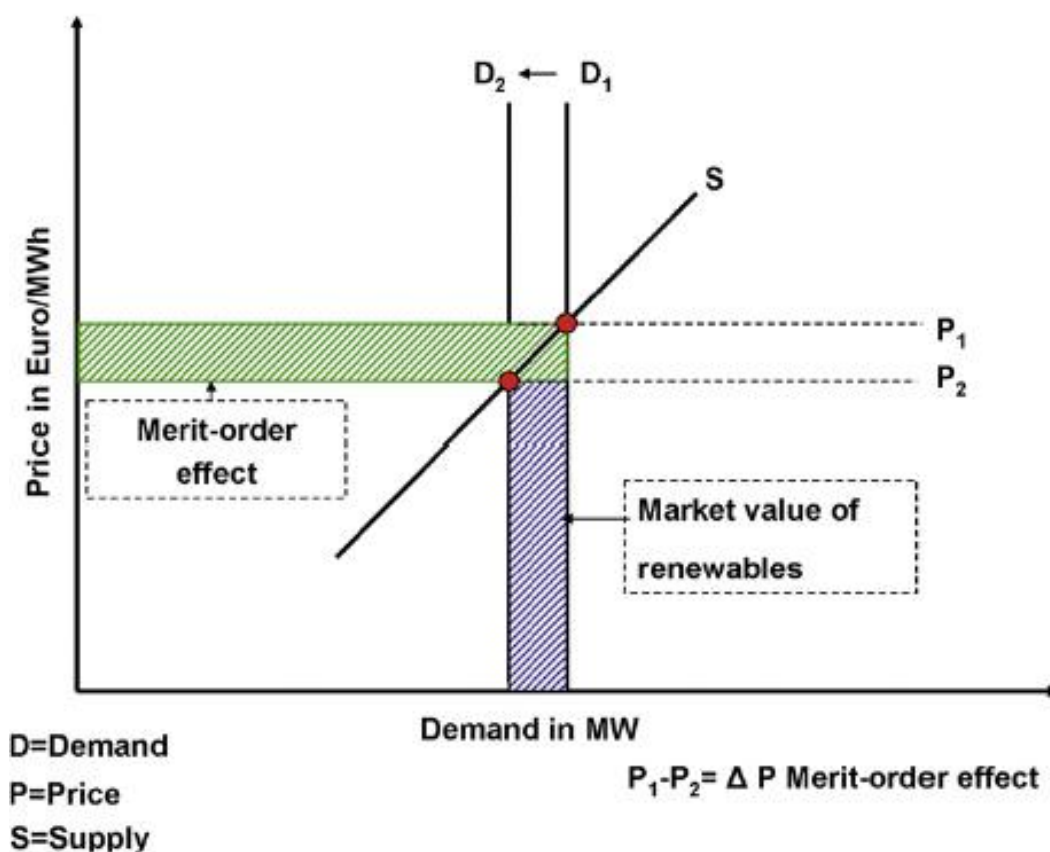


Σχ.21 : Μετατόπιση καμπύλης προσφοράς & μείωση της οριακής τιμής



Σχ.22 : Μετατόπιση της γραμμικοποιημένης καμπύλης προσφοράς & μείωση της οριακής τιμής

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ. 23 : Μετατόπιση καμπύλης ζήτησης (υπολειπόμενη ζήτηση) & μείωση της οριακής τιμής

Το φαινόμενο αυτό που προκύπτει με την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στην αγορά είναι γνωστό με τον όρο Merit Order Effect. Η καμπύλη προσφοράς συχνά αποκαλείται merit order curve. Είναι εμφανές ότι πριν την διείσδυση της αιολικής ενέργειας η τιμή ήταν υψηλότερη. Άρα οι αγοραστές θα αγόραζαν τον όγκο παραγωγής εάν δεν υπήρχε η αιολική ενέργεια σε μια τιμή P_1 ενώ πλέον θα την αγοράσουν στη τιμή $P_2 < P_1$. Το κέρδος τους φαίνεται στο πράσινο σκιαγραφημένο εμβαδόν και ονομάζεται merit order effect volume. Το κέρδος μετακυλιέται στους τελικούς καταναλωτές. Όμως, για να επιτευχθεί το κέρδος αυτό έχουν δαπανηθεί χρήματα για τη στήριξη των ΑΠΕ, οπότε το συνιστάμενο αποτέλεσμα δεν είναι προφανές.

5.1.2 Αλγεβρική Μοντελοποίηση

5.1.2.1 Παραμετροποίηση του Merit Order Effect

Η διαδικασία θα γίνει ευκρινής μέσα από την αλγεβρική μελέτη της διαδικασίας. Αρχικά ορίζουμε τη γραμμική καμπύλη προσφοράς

$$P^S = aq + b \text{ όπου } P^S: \text{τιμή των πωλητών, } a, b: \text{παράμετροι, } q: \text{ποσότητα (1)}$$

Και τη γραμμική καμπύλη ζήτησης

$$P^D = -cq + d \text{ όπου } P^D = \text{τιμή των αγοραστών, } c, d: \text{παράμετροι, } q: \text{ποσότητα (2)}$$

Εξισώνοντας την εξίσωση της καμπύλης προσφοράς με την εξίσωση της καμπύλης ζήτησης και λύνοντας ως προς q , έχουμε την ποσότητα του σημείου ισορροπίας της αγοράς : (3)

$$q^0 = \frac{d - b}{a + c}$$

Που με τη σειρά της μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την τιμή ισορροπίας : (4)

$$p^0 = a * \frac{d - b}{a + c} + b$$

Όπως φάνηκε και παραπάνω, η είσοδο της αιολικής ενέργειας στην αγορά ενέργειας μετακινεί την καμπύλη προσφοράς. Εάν θεωρήσουμε ως Q_R την ποσότητα της αιολικής ενέργειας, τότε η καινούργια καμπύλη προσφοράς γίνεται : (5)

$$P_{R^S} = aq + b - aQ_R$$

Όμως, η καμπύλη ζήτησης παραμένει ίδια άρα ένα νέο σημείο ισορροπίας επιτυγχάνεται : (6)

$$q_R = \frac{d - b + a * Q_R}{a + c}$$

Είναι προφανές ότι η ποσότητα αυξήθηκε με την διείσδυση της αιολικής ενέργειας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τοποθετώντας την εξίσωση (6) ως προς q_R στην εξίσωση (5) προκύπτει η νέα τιμή ισορροπίας : (7α) ,(7β)

$$p_R = a * \frac{d - b + a * Q_R}{a + c} + b - a * Q_R$$

ή

$$p_R = \frac{a * d + b * c - a * c * Q_R}{a + c}$$

Όπως αναμέναμε φαίνεται πως η οριακή τιμή του συστήματος μειώνεται με την είσοδο της αιολικής παραγωγής

Προκειμένου να δούμε το ποσό τη μείωσης της τιμής ισορροπίας αφαιρούμε από την εξίσωση (4) την εξίσωση (7) και προκύπτει : (8)

$$\Delta P = \frac{a * d + b * c}{a + c} - \frac{a * d + b * c - a * c * Q_R}{a + c} = \frac{a * c}{a + c} * Q_R = \frac{c}{1 + \frac{c}{a}} * Q_R$$

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (8) η μεταβολή της τιμής εξαρτάται τόσο από την κλίση της καμπύλης προσφοράς και της καμπύλης ζήτησης όσο και από την ποσότητα της αιολικής ενέργειας που εισάγεται στο σύστημα. Επίσης, είναι προφανές ότι η αύξηση των c, a οδηγούν σε μεγαλύτερη μεταβολή της τιμής. Αυτό φαίνεται ειδικότερα στην τελευταία ισότητα της εξίσωσης (8).

5.1.2.2 Σχέση Τιμής Χονδρικής & Τιμής Λιανικής

Τώρα θα μελετήσουμε τη σχέση της τιμής χονδρικής και των μεταβολών τις με τις τιμές λιανικής (wholesale and retail prices). Καταρχάς, έχουμε θεωρήσει έναν μηχανισμό υποστήριξης που βασίζεται στις σταθερές τιμές πληρωμών για την ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Επομένως, οι παραγωγοί πληρώνονται παράλληλα μέσω των feed in tariffs και για τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρουν λόγω πράσινης ενέργειας και για την ενέργεια αυτή καθαυτή. Ωστόσο, η διανομή του συνολικού ποσού των πληρωμών FIT στους τελικού καταναλωτές θα αμελούσε το γεγονός ότι η ενέργεια αυτή έχει ήδη

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

πληρωθεί μέσα από το χρηματιστήριο ενέργειας. Επομένως, η προμήθεια (mark up) που τελικά θα πληρώσουν επιπλέον οι τελικοί καταναλωτές υπολογίζεται ως εξής :

$$RE_{markup} = (\text{specific remuneration for RE} - \text{power price}) * RE \text{ share}$$

Ο όρος specific remuneration for RE είναι η σταθερή τιμή πληρωμής γνωστή ως «ταρίφα» (FIT). Ο όρος RE share είναι αναγκαίος ώστε το levy να αναφέρεται μόνο στην κατανάλωση από ΑΠΕ και όχι συνολικά σε όλη την κατανάλωση. Διαφορετικά θα σήμαινε ότι ολοι οι παραγωγοί θα πληρώνονταν στις τιμές των FIT. Επιπλέον, ο όρος έχει στον παρονομαστή του τη συνολική κατανάλωση ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι σε ανα μονάδα (euro/KWh) και όχι να προκύπτει απλά το συνολικό κόστος της ενίσχυσης των ΑΠΕ. Έτσι, ο κάθε καταναλωτής πολλαπλασιάζει το RE markup και προκύπτει η συμβολή του στην επιδότηση του μηχανισμού στήριξης της των ΑΠΕ. Βέβαια, κάθε κατηγορία ΑΠΕ έχει διαφορετικές, προσυμφωνημένες τιμές πληρωμών. Πιο συγκεκριμένα στοιχεία βρίσκονται σε προηγούμενο κομμάτι της εργασίας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι μόνο αυτή η διαφορά της τιμής χονδρικής και της τιμής λιανικής. Υπάρχουν και άλλες χρεώσεις που προστίθενται στην τιμή χονδρικής ώστε να καταλήξουμε στην τιμή λιανικής όπως χρεώσεις ισχύος, χρεώσεις ένταξης στο δίκτυο, ΦΠΑ, χρεώσεις μετρήσεις κ.α. Οι παρακάτω δυο πίνακες αποτελούν ένα παράδειγμα για την τρόπο που σχηματίζεται η τιμή λιανικής για την Γερμανία τόσο για απλούς καταναλωτές, όσο και για επαγγελματικούς καταναλωτές. Αργότερα θα αναλυθεί πως επηρεάζει διαφορετικά, λόγω των διαφορετικών ποσοστών των υπόλοιπων χρεώσεων, η τελική πληρωμή που οφείλεται στον μηχανισμό στήριξη των ΑΠΕ τους δυο διαφορετικούς τύπους καταναλωτών.

Cost component	c€/ kWh	Share
Grid access	5.5	32%
Energy (Wholesale price)	3.4	20%
V.A.T.	2.4	14%
Concession fee	2.1	12%
Eco tax	2.1	12%
Metering	0.8	4%
EEG levy	0.6	3%
Cogen levy	0.3	2%
Sum	17.1	100%

Πίνακας 9: Σχηματισμός τιμής λιανικής για οικιακούς καταναλωτές στη Γερμανία 2006

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Cost component	c€/ kWh	Share
Energy (wholesale price)	3.40	60%
Eco tax	1.23	22%
Grid access	0.75	13%
EEG levy	0.11	2%
Concession fee	0.11	2%
Cogen levy	0.05	1%
<i>Sum</i>	<i>5.65</i>	<i>100%</i>

Πίνακας 10 : Σχηματισμός τιμής λιανικής για επιχειρηματικούς καταναλωτές στη Γερμανία 2006

Προς το παρόν όμως θα αναλύσουμε πως σχετίζονται αμιγώς το επιπλέον κόστος λόγω της επιδότησης του μηχανισμού στήριξης, η μείωση της τιμής χονδρικής λόγω της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας και η τελική τιμή των καταναλωτών, συνάρτηση και του R που αποτελεί το ποσό πληρωμής των FIT.

Το ισοδύναμο RE markup όπως περιεγράφηκε προηγουμένως τώρα θα το ορίσουμε με την σχέση : (9)

$$m = (R - p_R) * \frac{Q_R}{q_R}$$

R, p_R: ct/kWh

Q_R, q_R: kWh

Μέσω των σχέσεων (6), (7) μπορούμε να αντικαταστήσουμε το p_R, q_R συνάρτηση του Q_R δηλαδή της παραγωγής αιολικής ενέργειας. Έτσι προκύπτει : (10)

$$m = \frac{((a + c) * R - a * b - b * c) * Q_R + a * c * Q_R^2}{d - b + a * Q_R}$$

5.1.2.3 Τελικό Αντίκτυπο στη Τιμή Λιανικής

Επιπλέον, θέλοντας να αναλύσουμε το συνολικό αντίκτυπο στους τελικούς καταναλωτές που έχει η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας λόγω των δυο αντίρροπων συνιστωσών, που είναι η αύξηση του κόστους λόγω τις επιδοτήσεις του μηχανισμού στήριξης και η μείωση της τιμής χονδρικής. Για να το κάνουμε αυτό θα αφαιρέσουμε το ποσό της μείωσης τιμής από το RE markup όπως φαίνεται παρακάτω : (11)

$$n = m - \Delta P = \left(\frac{(a + c) * R - a * d - b * c + a * c * QR}{d - b + a * QR} - \frac{a * c}{a + c} \right) * QR$$

Όπως φαίνεται από την σχέση (11) το τελικό αντίκτυπο που έχει η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις παραμέτρους της ανάλυσης και δεν είναι νομοτελειακό. Θα επιχειρηθεί όμως μια αριθμητική ανάλυση, μέσω προσομοίωσης, μια τυπικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντας υποθετικές αλλά αρκετά τυπικές αρχικοποιήσεις στις παραμέτρους των εξισώσεων.

5.1.3 Αριθμητικό Παράδειγμα

Στο σημείο αυτό θα κάνουμε την αριθμητική ανάλυση της συνολικής επίπτωσης της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας ώστε να διαπιστώσουμε την τάξη μεγέθους των μεταβολών στην συνολική επίπτωση, που προκαλούνται από την μεταβολή των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται. Έτσι, θα γίνει αντιληπτή η σημασία ορισμένων μεταβλητών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία. Τέλος, η θεωρητική ανάλυση ποσοτικοποιείται και έτσι αποκτάται αίσθηση για τις δυνατότητες ρύθμισης της τελικής επίπτωσης από τους δημιουργούς των μηχανισμών στήριξης.

Επομένως :

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

$$PS = 0.0005q + 15$$

$$PD = -0.05q + 3000$$

Δίχως αιολική ενέργεια να εισέρχεται μέσα στο σύστημα η οριακή τιμή του συστήματος προκύπτει περίπου στα 44.6 Euro/MWh, και η ποσότητα που συναλλάσσεται προκύπτει περίπου στις 59100 MWh. Η ελαστικότητα της πλευράς προσφοράς είναι |1,5| δηλαδή μάλλον ελαστική, ενώ η ελαστικότητα της πλευράς ζήτησης είναι |0,015| δηλαδή μάλλον ανελαστική.

5.1.3.1 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων για το Σημείου Ισορροπίας για Διαφορετικές Τιμές Αιολικής Παραγωγής & Κλίσης της Καμπύλης Προσφοράς

Ο παρακάτω πίνακας 11 που προκύπτει μας, δίνει μια εκτίμηση της τιμής εκκαθάρισης και της συνολικής ποσότητας για διαφορετικές τιμές της ενσωματούμενης αιολικής παραγωγής Q_R και της κλίσης a της καμπύλης προσφοράς :

RE	Slope of the supply curve a					
	0.0001		0.0005		0.001	
Production Q_R (MWh)	Price ^{*)} (€/MWh)	Quantity ^{*)} (MWh)	Price (€/MWh)	Quantity (MWh)	Price (€/MWh)	Quantity (MWh)
0	20.96	59,581	44.55	59,109	73.53	58,529
1,000	20.86	59,583	44.06	59,119	72.55	58,549
2,000	20.76	59,585	43.56	59,129	71.57	58,569
3,000	20.66	59,587	43.07	59,139	70.59	58,588
4,000	20.56	59,589	42.57	59,149	69.61	58,608
5,000	20.46	59,591	42.08	59,158	68.63	58,627
6,000	20.36	59,593	41.58	59,168	67.65	58,647
7,000	20.26	59,595	41.09	59,178	66.67	58,667
8,000	20.16	59,597	40.59	59,188	65.69	58,686
9,000	20.06	59,599	40.10	59,198	64.71	58,706
10,000	19.96	59,601	39.60	59,208	63.73	58,725

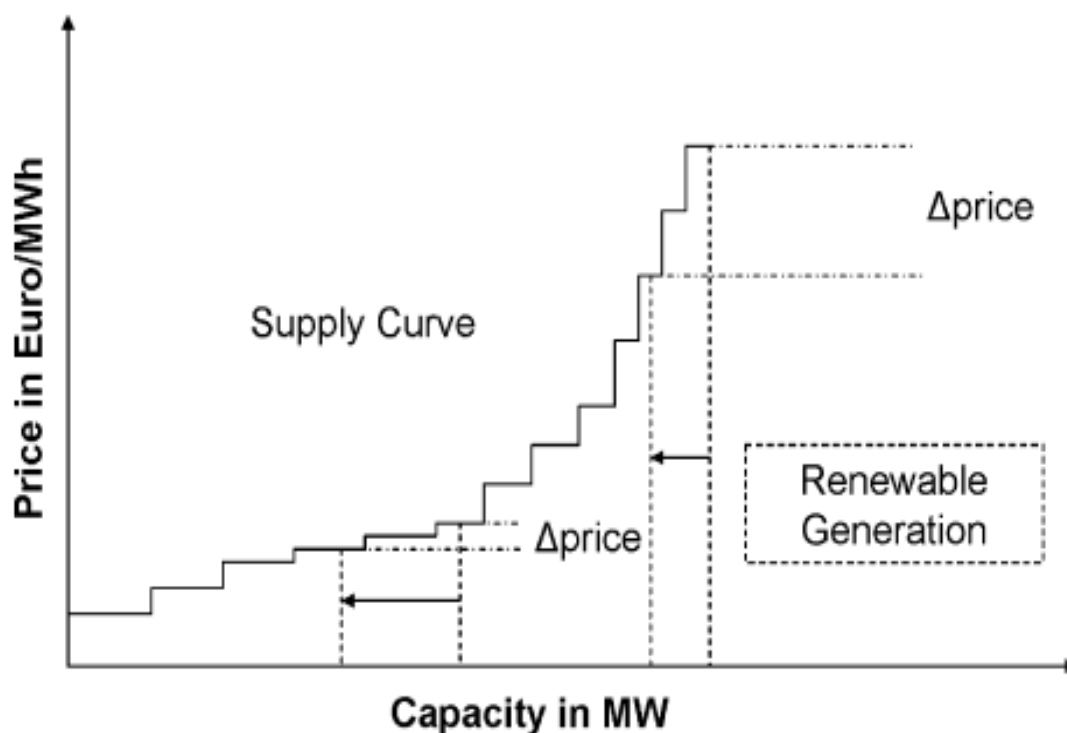
^{*)} Market equilibrium

Πίνακας 11: Τιμή ισορροπίας του συστήματος & συνολική συναλλασσόμενη ποσότητα συναρτήσει της αιολικής παραγωγής & της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της τιμής είναι μεγαλύτερη, για αντίστοιχο όγκο ενσωμάτωσης αιολικής ενέργειας, όσο αυξάνεται η κλίση α της καμπύλης προσφοράς. Η μεταβολή αυτή είναι μεγαλύτερη τόσο σε ποσοστιαίες τιμές όσο και σε απόλυτες τιμές. Το συμπέρασμα αυτό δείχνει ότι η μορφή της καμπύλης προσφοράς που ουσιαστικά είναι η απεικόνιση του δυναμικού ενεργειακής παραγωγής μιας χώρας αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση του φαινομένου. Επομένως για διαφορετικές χώρες με διαφορετικό portfolio εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, η ίδια αιολική διείσδυση θα έχει διαφορετικές επιπτώσεις. Ωστόσο, το συμπέρασμα επεκτείνεται και ατομικά για κάθε χώρα μελέτης. Τα εργοστάσια παραγωγής που θα είναι διασυνδεδεμένα και διαθέσιμα κάθε ώρα λοιπόν εμμέσως επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα που έχει η αιολική διείσδυση. Επίσης το επίπεδο που βρίσκεται η συνολική παραγωγή κάθε ώρας κατέχει εξέχων ρόλο. Αυτό συμβαίνει διότι όταν η παραγωγή, που ισοδύναμη πάντα με τη ζήτηση, βρίσκεται σε διαφορετικά επίπεδα, η αγορά ισορροπεί σε διαφορετικό σημείο της καμπύλης προσφοράς.

Όμως στην πραγματικότητα η καμπύλη προσφοράς δεν είναι τελείως γραμμική. Σε πολύ χαμηλά επίπεδα η κλίση είναι χαμηλή ενώ σε υψηλά είναι υψηλή. Σε κάθε περίπτωση τοπικά συμπεριφέρεται γραμμικά. Το συμπέρασμα είναι ότι για διαφορετικές ώρες για την ίδια καμπύλη προσφοράς, που όμως η αγορά ισορροπεί σε διαφορετικά σημεία της, το αντίκτυπο της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας είναι διαφορετικό. Σε υψηλά επίπεδα, που η καμπύλη γίνεται κυρτή, η παράγωγος της καμπύλης τείνει να έχει υψηλή τιμή και είναι ουσιαστικά η κλίση α λόγω γραμμικοποίησης, η μείωση της τιμής είναι υψηλή ενώ σε χαμηλά, που η καμπύλη είναι πιο σταθερή, η παράγωγος τείνει σε χαμηλές τιμές και επομένως η μείωση της τιμής είναι μικρότερη. Αυτή η διαδικασία γίνεται πλήρως αντιληπτή γραφικά στο επόμενο σχήμα (Σχ.24).



Σχ.24 : Μεταβολή της μεταβολής της οριακής τιμής του συστήματος

5.1.3.2 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων για το Mark Up για Διαφορετικές Τιμές Αιολικής Παραγωγής & Κλίσης της Καμπύλης Προσφοράς

Τώρα μπορούμε να μελετήσουμε και την άλλη συνιστώσα που είναι το RE markup για τους τελικούς καταναλωτές. Αρχικά θα θεωρήσουμε ότι οι τιμές πληρωμών R για τους αιολικούς παραγωγούς είναι σταθερές και ίσες με 90 Euro/MWh. Αυτή είναι μια κοντινή προσέγγιση με την «ταρίφα» που ισχύει για τα Γερμανικά FIT. Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η κλίση της καμπύλης προσφοράς τόσο μειώνεται η συνολική επιβάρυνση για την ίδια ενσωμάτωση αιολικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή το RE markup εξαρτάται από τον όρο $R - p_R$. Όπως είδαμε, η αύξηση της κλίσης της καμπύλης προσφοράς οδηγεί σε υψηλότερες τιμές. Έτσι, ο όρος αυτός ουσιαστικά μειώνεται καθώς οι τιμές πληρωμών R για τους παραγωγούς είναι σταθερές και ανεξάρτητες από την καμπύλη προσφοράς.

Κάποιος θα μπορούσε να παρατηρήσει ότι η αύξηση της κλίσης της καμπύλης προσφοράς, όπως φάνηκε στο προηγούμενο πίνακα, οδηγεί σε μεγέθυνση της μείωσης τιμής. Όμως, η αύξηση της τιμής που προκύπτει με μεγαλύτερη κλίση είναι πολύ ισχυρότερη από την αύξηση της μείωσης της τιμής που έχει η αύξηση της κλίσης της καμπύλης προσφοράς. Στην

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

καλύτερη περίπτωση, η δεύτερη συνιστώσα απλώς επιβραδύνει και συγκρατεί την αύξηση της. Έτσι, προκύπτει χαμηλότερο RE markup για υψηλότερες κλίσεις a .

RE- production Q_R (MWh)	slope of the supply curve a				
	0.0001	0.00025	0.0005	0.00075	0.001
0	0	0	0	0	0
1,000	1.16	1.02	0.78	0.54	0.30
2,000	2.32	2.04	1.57	1.10	0.63
3,000	3.49	3.07	2.38	1.69	0.99
4,000	4.66	4.12	3.21	2.30	1.39
5,000	5.83	5.17	4.05	2.94	1.82
6,000	7.01	6.22	4.91	3.60	2.29
7,000	8.19	7.29	5.79	4.28	2.78
8,000	9.38	8.36	6.68	4.99	3.31
9,000	10.56	9.45	7.59	5.73	3.88
10,000	11.75	10.54	8.51	6.49	4.47

Πίνακας 12 : Mark up συναρτήσει της αιολικής παραγωγής & της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

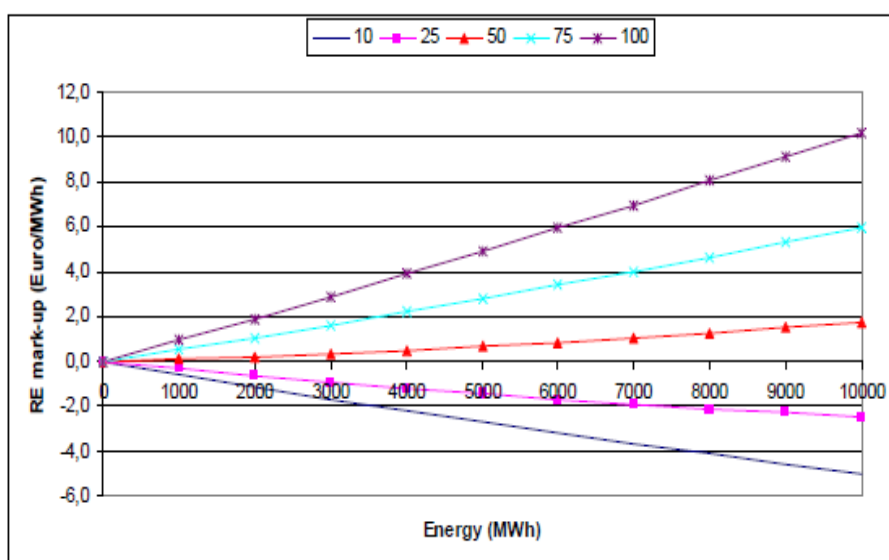
Ένα επιπλέον συμπέρασμα που εκμαιεύουμε από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι η χρηματική ποσοτικοποίηση της στήριξης μέσω του μηχανισμού προώθησης των ΑΠΕ, που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη ποσότητα αιολικής ενέργειας, δεν είναι σταθερή. Φαίνεται δηλαδή ότι οι τιμές τις αγοράς και όχι μόνο η ποσότητα της αιολικής ενσωμάτωσης καθορίζουν πόσα λεφτά τελικά επενδύονται για τα περιβαλλοντικά οφέλη της αιολικής διείσδυσης.

5.1.3.3 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων για το Mark Up για Διαφορετικές Τιμές Αιολικής Παραγωγής & Εγγυημένης Τιμής Πληρωμών

Το δεύτερο σχήμα, αναφορικά με το RE markup, αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση. Τώρα η κλίση a της καμπύλης προσφοράς είναι σταθερή ενός ως παράμετροι τίθενται: η αιολικής παραγωγή όπως και πριν αλλά και το επίπεδο των σταθερών τιμών πληρωμών σε αντίθεση με πριν. Παρατηρούμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις το RE markup γίνεται αρνητικό. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η τιμή της αγοράς είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο των σταθερών τιμών πληρωμών για τους παραγωγούς (FIT). Αυτό δεν αποτελεί ένα ρεαλιστικό σενάριο στην πράξη. Οι παραγωγοί αιολικής ενέργειας δεν θα είχαν κανένα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

λόγο να συμμετέχουν στον μηχανισμό υποστήριξης. Αντιθέτως, θα συμμετείχαν απευθείας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επειδή θα τους συνέφερε. Ομοίως, η ύπαρξη του μηχανισμού στήριξης δεν θα είχε κανένα νόημα. Η αιολική παραγωγή θα ήταν οικονομικά βιώσιμη και πλήρως ανταγωνιστική με τις υπόλοιπες συμβατικές πηγές παραγωγής (Grid Parity). Παρόλα αυτά, σε ορισμένες ωρες τον χρόνο ένα τέτοιο σενάριο θα μπορούσε να υλοποιηθεί. Όχι διότι θα άλλαζε η σταθερή τιμή πληρωμής αλλά ενδεχομένως επειδή η αγορά θα έφτανε σε τέτοια υψηλή τιμή που θα ξεπέρναγε την σταθερή τιμή πληρωμών. Για αυτό το λόγο όπως είδαμε στην ανάλυση των μηχανισμών στήριξης υπάρχουν δικλίδες που επιτρέπουν στους παραγωγούς να συμμετέχουν απευθείας στην αγορά. Για τις περισσότερες ωρες τον χρόνο και για τις μέσες τιμές που προκύπτουν σε καμία περίπτωση αυτό, ακόμα, δεν είναι αληθές.



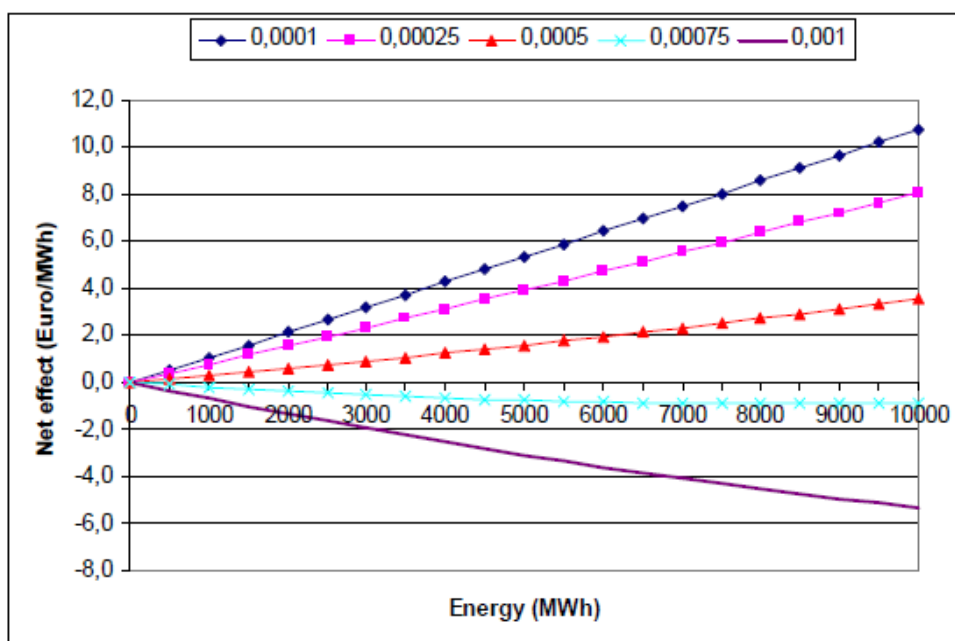
Σχ.25 : Mark up συναρτήσεις του ποσού των feed in tariffs

5.1.3.4 Ανάλυση του Τελικού Αντίκτυπου στη Τιμή Λιανικής για Διαφορετικές Τιμές Αιολικής Παραγωγής & Κλίσης της Καμπύλης Προσφοράς

Έχοντας αναλύσει πλέον ξεχωριστά και τις δυο συνιστώσες που συνδράμουν στην διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος για τους καταναλωτές, μπορούμε να εξετάσουμε και τη συμπεριφορά του συνισταμένου αποτελέσματος. Στο πρώτο σχήμα (Σχ.26) βλέπουμε την εξέλιξη του n (net effect) συνάρτηση της κλίσης της καμπύλης προσφοράς και του όγκου της αιολικής παραγωγής. Θέτουμε ως σταθερά το επίπεδο R των σταθερών τιμών πληρωμής ίση με 90 Euro/MWh. Παρατηρούμε ότι για τις περισσότερες κλίσεις a η συνολική επίπτωση είναι θετική που σημαίνει πως η τελική τιμή για τον καταναλωτή αυξάνεται. Σε μια περίπτωση όπου η υποτιθέμενη τιμή της κλίσης a είναι αρκετά υψηλή το αποτέλεσμα είναι αρνητικό που σημαίνει ότι κάποιες ωρες ειδικά όταν η τιμή χονδρικής

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

είναι υψηλή το φαινόμενο αυτό αναχαιτίζει τις τιμές που αντιλαμβάνεται ο τελικός καταναλωτής και οριακά τις μειώνει. Για τις περισσότερες ωρες, όπου η κλίση παίρνει προσεγγιστικά την αρχική τιμή $a = 0,0005$, παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα αυξημένο κόστος για τους τελικούς καταναλωτές, που όμως σε καμία περίπτωση δεν είναι υπερβολικό και είναι εξαιρετικά μειωμένο σε σχέση με αντίστοιχο που προκύπτει εάν δεν συνυπολογιστεί η μείωση των τιμών που οφείλεται στην διείσδυση των ΑΠΕ.



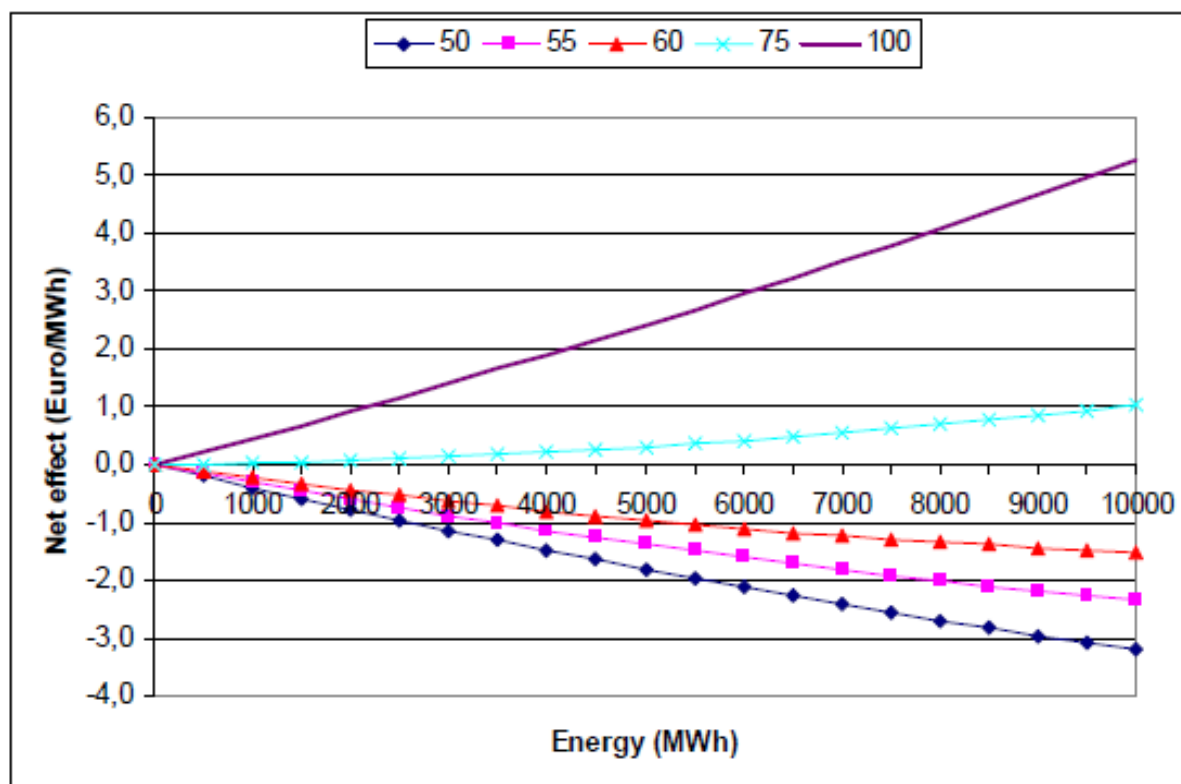
Σχ.26 : Συνολική επίπτωση στην τελική τιμή συναρτίζεται της κλίσης της καμπύλης προσφοράς

5.1.3.5 Ανάλυση του Τελικού Αντίκτυπου στη Τιμή Λιανικής για Διαφορετικές Τιμές Αιολικής Παραγωγής & Εγγυημένης Τιμής Πληρωμών

Στο δεύτερο σχήμα βλέπουμε πάλι το αντίστροφο σενάριο με σταθερή την κλίση a της καμπύλης προσφοράς και το επίπεδο του R ως παράμετρο για τον έλεγχο του net effect.

Αυτή η ανάλυση γίνεται ώστε να φανεί σε ποιο επίπεδο της «ταρίφας» βρίσκεται το σημείο όπου για τις περισσότερες ωρες τον χρόνο ή για ποια μορφή της καμπύλης προσφοράς γενικότερα αρχίσει η επιβάρυνση των τελικών καταναλωτών και ποσό. Από το σχήμα (Σχ.27) φαίνεται ότι για R περίπου ίσο με 70 Euro/MWh οριακά το τελικό κόστος για τους καταναλωτές γίνεται μηδενικό.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.27 : Συνολική επίπτωση στην τελική τιμή συναρτήσει του ποσού των feed in tariffs

5.1.4 Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του net effect γίνεται υπολογίζοντας μόνο την επίδραση της άμεσης επίπτωσης της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας. Αργότερα στην εργασία θα δούμε και τον τρόπο που επιδρά έμμεσα η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στις τιμές χονδρικής και λιανικής. Ενώ ο τρόπος που επιδρά έμμεσα θα δούμε ότι «σπρώχνει» προς τα κάτω το net effect δεν μπορούμε να ισχυριστούμε με ασφάλεια ότι η διαδικασία αυτή λειτουργεί ακριβώς προσθετικά.

Το αντίκτυπο στους τελικούς καταναλωτές δεν είναι νομοτελειακό. Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υποθέσεις και τις αρχικοποιήσεις των μεταβλητών. Για να βρεθεί το συνολικό αντίκτυπο ενός έτους πρέπει να αναλυθεί με παρόμοιο τρόπο και με πραγματικά στοιχεία κάθε ώρα του έτους. Έπειτα να ενσωματωθούν σε μια ενιαία τιμή και ένα ενιαίο net effect ώστε να προκύψουν τα μέσα μεγέθη ενός έτους.

Γενικότερα, τις μεγαλύτερες αντιρρήσεις και ενστάσεις για την επιβολή του μηχανισμού στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβάλλουν μεγάλοι επαγγελματίες καταναλωτές, δηλαδή επιχειρήσεις και εργοστάσια που έχουν μεγάλες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας όπως για παράδειγμα ο βιομηχανικός τομέας της Γερμανίας. Υποστηρίζουν ότι λόγω της οικονομικής ενίσχυσης των μηχανισμού στήριξης αυξάνεται το

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνουν. Επιχειρηματολογούν ότι επειδή σε τέτοιου τύπου επιχειρήσεις τα τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μεγάλο ποσοστό του συνολικού τους κοστολόγιου, χάνουν σε μεγάλο βαθμό την ανταγωνιστικότητα τους σε σχέση με παρόμοιες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε χώρες δίχως αντίστοιχους μηχανισμούς.

Το επιχείρημα όμως είναι μόνο εν μέρη σωστό και ολοκληρωμένο. Καταρχάς, οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες αυτές δεν συνυπολογίζουν ότι οι αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση ενέργειας προερχόμενη από ρυπογόνες συμβατικές πηγές, που δεν έχουν επιπλέον κόστος, εξωτερικεύονται σε όλους τους πολίτες της χώρας. Όμως δεν κερδοφορούν ολοι οι πολίτες της χώρας μαζί με αυτές παρά μονάχα η ίδιες. Πέραν τούτου, από οικονομικής σκοπιάς, υπάρχουν προβλέψεις στους περισσότερους μηχανισμούς στήριξης των ΑΠΕ και ιδίως στη Γερμανία για ελάφρυνση των επαγγελματικών καταναλωτών και μειωμένη συμμετοχή τους στη χρηματοδότηση των μηχανισμών στήριξης.

Έτσι πολλοί επαγγελματίες καταναλωτές αντιλαμβάνονται μικρότερες «ταρίφες» ή πολύ μεγάλοι καταναλωτές μεχρι και μηδενικές. Όμως οι σταθερές τιμές πληρωμής των παραγωγών είναι προσυμφωνημένες άρα το επιπλέον κόστος μετακυλιεται στους απλούς οικιακούς καταναλωτές. Παράλληλα όμως απολαμβάνουν την μείωση της τιμής χονδρικής λόγω της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας που προκύπτει λόγω του μηχανισμού στήριξης.

Επιπροσθέτως, ενώ οι μειώσεις της τιμής χονδρικής, που συμπεριλαμβάνονται στις τιμές λιανικής, σε απόλυτες τιμές είναι ίδιες για όλους, το τελικό θετικό αντίκτυπο της μείωσης στα τελικά τιμολόγια λιανικής είναι πολύ μεγαλύτερο για τους επαγγελματίες καταναλωτές σε σχέση με τους οικιακούς καταναλωτές. Αυτό συμβαίνει διότι η τιμή χονδρικής αποτελεί πολύ μεγαλύτερο ποσοστό της τιμής λιανικής στους πρώτους σε σχέση με τους δευτέρους επομένως η μείωση της οδηγεί σε μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση των τιμών λιανικής αντίστοιχα. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες 9,10.

5.2 Ανάλυση Ευαισθησίας της Επίπτωσης για Διαφορετικές Παραμέτρους

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση για τον άμεσο τρόπο που επιδρά στην τιμή εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας η διείσδυση αιολικής ενέργειας, θα κάνουμε μια ανασκόπηση και ανάλυση των σημαντικότερων παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό.

5.2.1 Όγκος Εισροής της Αιολικής Ενέργειας

Τόσο από τις εξισώσεις 7α και 7β όσο και από την γραφική αναπαράσταση αποδεικνύεται ότι όσο αυξάνεται ο όγκος της ενσωματούμενης αιολικής ενέργειας τόσο ισχυρότερη είναι η πτωτική τάση της οριακής τιμής τους συστήματος. Αυτό φαίνεται και ποσοτικά στον πίνακα που παρουσιάζει τις επιπτώσεις στην οριακή τιμή του συστήματος που έχει η αυξανόμενη εισροή αιολικής ενέργειας στο σύστημα. Επίσης το προς τα ποια κατεύθυνση θα κινηθεί το τελικό net effect με αυξανόμενη αιολική διείσδυση εξαρτάται από όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το σύστημα όπως φαίνεται από τα σχήματα 26,27. Η παράμετρος αυτή είναι από τις σημαντικότερες, αν όχι η πιο σημαντική. Όμως πρέπει να δοθεί προσοχή στη διάκριση μεταξύ της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος και της πραγματικής αιολικής ενέργειας που εισάγεται στο σύστημα. Θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω πως όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τόσο αδυνατίζει η επίπτωση στη μέση τιμή της οριακής τιμής του συστήματος για κάθε επιπλέον μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Οι λόγοι που οδηγούν σε αυτό το συμπέρασμα θα εξερευνηθούν ενδελεχώς αργότερα.

5.2.2 Συνολικό Φορτίο Ζήτησης

Είδαμε αναλυτικά παραπάνω ποσό σημαντική είναι η κλίση καμπύλης προσφοράς. Όμως το συνολικό φορτίο είναι που καθορίζει το σημείο της τομής με την καμπύλη προσφοράς και συνεπώς τη τοπική κλίση που την διέπει. Μέσα από αυτό τον μηχανισμό το συνολικό φορτίο της ζήτησης αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο για το μέγεθος του merit order effect. Όσο πιο υψηλό είναι το συνολικό φορτίο σε τόσο πιο υψηλό σημείο της καμπύλης προσφοράς θα ισορροπήσει η αγορά με αποτέλεσμα η μείωση της τιμής να ισχυροποιείται και αντίστροφα. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 24.

5.2.3 Ελαστικότητα Καμπύλης Ζήτησης

Είναι πολύ ενδιαφέρον ο τρόπος που επιδρά η ελαστικότητα της καμπύλης ζήτησης σε κάθε μια από τις συνιστώσες ΔP , m (RE markup) αλλά και στην συνισταμένη τους n (net effect). Αρχικά, φαίνεται πως με αυξημένη ελαστικότητα θα μειώνεται η απόλυτη τιμή του όρου ΔP . Αυτό προκύπτει πολύ εύκολα τόσο από τις εξισώσεις όσο και γραφικά. Όμως παράλληλα αυξημένη ελαστικότητα οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή q_R . Έτσι η εξίσωση του m έχει αυξημένο το q_R και συγκριτικά το p_R . Έτσι ο συνολικός όρος m μειώνεται επίσης.

$$m = (R - p_R) * \frac{Q_R}{q_R}$$

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αυτό συνεπάγεται ότι η διαφορά τους δεν είναι προφανές προς τα πού θα κινηθεί. Ωστόσο, το αποτέλεσμα είναι ότι η αυξημένη ελαστικότητα της καμπύλης ζήτησης αυξάνει το net effect αυξάνοντας το κόστος για τους τελικούς καταναλωτές. Άρα τελικά ο όρος ΔP μειώνεται πιο δραστικά από τον όρο m .

5.2.4 Διαθέσιμο Δυναμικό Συμβατικών Παραγωγών

Η παράμετρος αυτή είναι επίσης πολύ σημαντική διότι επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη μορφή της καμπύλης προσφοράς. Ας θυμηθούμε ότι η καμπύλη προσφοράς είναι η ταξινόμηση των οριακών κοστών παραγωγής των εργοστασίων που δραστηριοποιούνται σε κάθε αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα εάν μια χώρα διαθέτει ένα στόλο εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προχωρημένης τεχνολογίας με χαμηλά οριακά κόστη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εκτείνονται ομοιόμορφα μέχρι και σε μεγάλες παραγωγικές δυνατότητες τότε προφανώς θα η χώρα θα έχει μια καμπύλη προσφοράς ενέργειας με μικρή κλίση συνεπώς χαμηλότερη οριακή τιμή και μικρότερο αντίκτυπο στη μείωση της τιμή με την εισροή αιολικής ενέργειας. Αντίθετα, μια χώρα εάν είχε ένα πεπερασμένο στόλο με χαμηλά οριακά κόστη παραγωγής (π.χ. πυρηνικά) και έπειτα για να καλύψει τις ανάγκες σε περίπτωση αυξημένης ζήτησης είχε μόνο εργοστάσια υψηλού οριακού κόστους παραγωγής (π.χ. φυσικού αερίου) τότε και η τιμή για αρκετές ώρες θα ήταν υψηλή και το ΔP θα ήταν υψηλό. Αντίστοιχα, το net effect θα ήταν υψηλότερο στην πρώτη περίπτωση σε αντίθεση με τη δεύτερη όπως εξηγήσαμε παραπάνω.

5.2.5 Τιμές Καυσίμων

Οι τιμές των καυσίμων είναι σημαντική παράμετρος ευαισθησίας διότι επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο όπως και η προηγούμενη παράμετρος. Το κόστος των καυσίμων είναι το σημαντικότερο ποσοστό στο συνολικό οριακό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, οι μεταβολές στις τιμές των καυσίμων οδηγούν σε μεταβολές των οριακών κοστών παραγωγής των διάφορων τύπων εργοστασίων. Έτσι μεταβάλλεται και η μορφή της merit order curve με ότι αυτό συνεπάγεται όπως αναλύσαμε προηγουμένως. Ωστόσο, θα ήταν λάθος να ισχυριστούμε ότι αυξήσεις στις τιμές οδηγούν σε αντίστοιχες αυξήσεις ή μειώσεις του Merit Order Effect. Διαφορετικοί συσχετισμοί αυξομειώσεων τιμών διάφορων καυσίμων οδηγούν σε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Εξαρτάται από την ομοιομορφία της καμπύλης προσφοράς. Οι Frank Sensfuß, Mario Ragwitz, Massimo Genovese, το 2006 εκτέλεσαν μια προσομοίωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας και κατέληξαν όσον αφορά τις τιμές των καυσίμων στα αποτελέσματα του πίνακα 13.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Sensitivity analysis for the year 2006

2006	Fuel prices			Relative change merit-order effect	
	Low (€/MWh)	Normal (€/MWh)	High (€/MWh)	Low (%)	High (%)
Nuclear	2.99	3.75	4.49	0	0
Hard coal	6.37	7.98	9.55	11	-9
Lignite	3.03	3.79	4.55	2	-1
Oil	25.65	32.15	38.48	-2	1
Gas	17.30	21.69	25.95	-30	26

Πίνακας 13: Ανάλυση ευαισθησίας του Merit Order Effect συναρτήσει των τιμών των καυσίμων

Για παράδειγμα φαίνεται ότι για το φυσικό αέριο η μείωση της τιμής οδήγησε σε μείωση του merit order effect ενώ η αύξηση σε αύξηση και στις δυο περιπτώσεις εμφατικά . Το μέγεθος της μεταβολής έχει να κάνει με το γεγονός ότι η τιμή του φυσικού αερίου σε αυτόν τον τύπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι θεμελιώδους σημασίας και πολύ μεγάλο ποσοστό του κόστους παραγωγής. Το πρόσημο εξηγείται μέσω της θέσης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΠΗΕ) φυσικού αερίου. Επειδή βρίσκονται στο τέλος της καμπύλης προσφοράς αύξηση του οριακού κόστους σημαίνει ότι η καμπύλη προσφοράς γίνεται πιο απότομη και αντίστροφα. Αντίθετα, η μεταβολή της τιμής του σκληρού άνθρακα έχει αντίθετο πρόσημο μεταβολής του merit order effect. Αυτό συμβαίνει διότι τα εργοστάσια ΠΗΕ του σκληρού άνθρακα έχουν μέτρια οριακά κόστη σε σχέση με τα υπόλοιπα εργοστάσια επομένως βρίσκονται στη μέση της καμπύλης προσφοράς. Η αύξηση του οριακού τους κόστους σε αυτή τη περίπτωση γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στα πυρηνικά που έχουν χαμηλό οριακό κόστος και του φυσικού αερίου, ελαττώνοντας την κλίση της καμπύλης παραγωγής.

5.2.6 Τιμές Δικαιωμάτων Εκπομπών CO₂

Οι τιμές των δικαιωμάτων CO₂ επηρεάζουν με τον ίδιο μηχανισμό όπως και οι τιμές των καυσίμων. Είναι όμως διαφορετικές από τις τιμές των καυσίμων διότι οι τιμές των δικαιωμάτων CO₂ είναι ενιαίες για όλους τους παραγωγούς και ο συντελεστής εκπομπών που έχει ο κάθε τύπος εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστός. Έτσι, η επίπτωση των τιμών CO₂ στο merit order effect είναι πιο προβλέψιμη σε σχέση με την

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αντίστοιχη που έχουν οι τιμές των καυσίμων. Στην ίδια εργασία, οι Frank Sensfuß, Mario Ragwitz, Massimo Genoese, το 2006 βρήκαν τα παρακάτω:

Impact of CO₂ prices on the merit-order effect

CO ₂ prices (€/t)	Relative change (%)
0	0
10	-4
20	-8
30	-12
40	-16

Πίνακας 14 : Ανάλυση ευαισθησίας του Merit Order Effect συναρτήσει των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι αυτός είναι ο τρόπος που επιδρούν οι μεταβολές των τιμών των καυσίμων και των τιμών δικαιωμάτων χρήσης CO₂ στην άμεση επίπτωση που έχει η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στις τιμές χονδρικής. Δηλαδή οι μεταβολές αυτές επιδρούν με τους προαναφερθέντες τρόπους στο μέγεθος της μείωσης της τιμής εκκαθάρισης. Ουσιαστικά, αναλύουμε τον τρόπο που επιδρούν στο merit order effect και όχι στην ίδια την τιμή εκκαθάρισης. Αργότερα θα δούμε πως εμμέσως επιδρούν στην ίδια την οριακή τιμή του συστήματος.

Επίσης υπάρχουν και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν μακροπρόθεσμα το merit order effect. Όμως η ανάλυση τους θα υλοποιηθεί όταν εξερευνηθούν όλες οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις που έχει η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

5.3 Μηχανισμοί Σχετικοί με την Έμμεση Επίπτωση της Αιολικής Διείσδυσης στο Επίπεδο των Τιμών

Στο προηγούμενο σκέλος αναλύσαμε την άμεση επίδραση που έχει η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην οριακή τιμή του συστήματος. Σε αυτό το σκέλος θα αναλύσουμε πως επηρεάζει έμμεσα η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας τις μέσες ετήσιες τιμές χονδρικής μέσω άλλων μηχανισμών που αλληλοεπιδρούν με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στο σημείο αυτό, είναι χρήσιμο να κάνουμε μια ανάλυση του μηχανισμού European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) καθώς και του Πρωτοκόλλου του Κιότο που έχει έχουν δημιουργηθεί ώστε να περιοριστεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου μέσω περιορισμού των εκπομπών CO₂ και άλλων ρυπογόνων αερίων.

5.3.1 Πρωτόκολλο του Κιότο

Η σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change) και το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελούν το μόνο διεθνές πλαίσιο για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών.

Η UNFCCC, το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, συνήφθη το Μάιο του 1992 και άρχισε να ισχύει το Μάρτιο του 1994. Επιβάλλει σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη την υποχρέωση να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να υποβάλουν τακτικές εκθέσεις, ενώ απαιτεί από τις βιομηχανικές συνυπογράφουσες χώρες, σε αντιδιαστολή με τις αναπτυσσόμενες, να επιτύχουν τη σταθεροποίηση των δικών τους εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990, μέχρι το έτος 2000. Ο στόχος αυτός, ωστόσο, δεν είναι δεσμευτικός. Με τη διάκριση ανάμεσα στις βιομηχανικές και τις αναπτυσσόμενες χώρες, η UNFCCC αναγνωρίζει το γεγονός ότι οι βιομηχανικές χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και ότι διαθέτουν επίσης τη θεσμική και χρηματοοικονομική ικανότητα να τις περιορίσουν. Τα συμβαλλόμενα μέρη συναντώνται ετησίως για μια επισκόπηση της προόδου και για τη συζήτηση νέων μέτρων, ενώ έχουν θέσει σε εφαρμογή ορισμένους μηχανισμούς πλανητικής παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων, ώστε να καταγράφονται οι εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το 1994, ήταν ήδη παραδεκτό ότι οι αρχικές δεσμεύσεις βάσει της UNFCCC δεν επρόκειτο να επαρκέσουν για να αναχαιτιστεί η παγκόσμια αύξηση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις 11 Δεκεμβρίου 1997, οι κυβερνήσεις προχώρησαν ένα βήμα περισσότερο, εγκρίνοντας Πρωτόκολλο της UNFCCC στην ιαπωνική πόλη του Κιότο. Βασιζόμενο στο πλαίσιο της UNFCCC, το Πρωτόκολλο του Κιότο όρισε, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, νομικά δεσμευτικές οριακές τιμές εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου από τις βιομηχανικές χώρες και προέβλεψε τη δημιουργία καινοτόμων μηχανισμών υλοποίησης (οι τρεις «ευέλικτοι μηχανισμοί») με βάση τη λειτουργία των δυνάμεων της αγοράς, οι οποίοι αποσκοπούν στη διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του κόστους περιορισμού των εκπομπών.

Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο, οι βιομηχανικές χώρες υποχρεούνται να μειώσουν τις δικές τους εκπομπές έξι αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο, μεθάνιο, μονοξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

υπερφθοράνθρακες και εξαφθοριούχο θείο) κατά 5,2% κατά μέσον όρο σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, κατά τη διάρκεια της πρώτης «περιόδου δέσμευσης», η οποία καλύπτει τα έτη 2008 έως 2012. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες δεν καθορίζονται στόχοι ως προς τις εκπομπές.

Η ΕΕ ως σύνολο δεσμεύτηκε να μειώσει τις δικές της εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 8%, κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου δέσμευσης 2008-2012. Ο στόχος αυτός επιμερίζεται μεταξύ των κρατών-μελών με νομικά δεσμευτική συμφωνία επιμερισμού των βαρών, η οποία ορίζει στόχους για τις εκπομπές κάθε κράτους-μέλους. Η ΕΕ και όλα τα κράτη μέλη της κύρωσαν το Πρωτόκολλο του Κιότο στις 31 Μαΐου 2002. Προτιμήθηκε ο καθορισμός πενταετούς περιόδου δέσμευσης αντί ενός ετήσιου στόχου για να εξομαλυνθούν οι ετήσιες διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων που οφείλονται σε ανεξέλεγκτους παράγοντες, όπως ο καιρός. Το 2005 άρχισαν διεθνείς διαπραγματεύσεις για τον καθορισμό της δεύτερης περιόδου δέσμευσης βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο, μετά το έτος 2012.

5.3.2 Μηχανισμός Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

Ένας από τους τρεις μηχανισμούς που υιοθετήθηκαν προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι η Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU-ETS: Emissions Trading Scheme) ο οποίος θέτει ανώτατα όρια εκπομπών ανά κράτος-μέλος (Κ-Μ) και ανά επιχείρηση που εμπλέκεται στην εφαρμογή του μηχανισμού και προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών αερίων μεταξύ των εμπλεκόμενων επιχειρήσεων και κρατών.

Με άλλα λόγια η ιδέα είναι να αποδώσουμε σε κάθε κράτος-μέλος και στη συνέχεια σε κάθε εταιρεία, που εμπλέκεται στο μηχανισμό, το δικαίωμα να εκπέμπει έναν ορισμένο αριθμό τόνων διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος και να παρακολουθούμε τις επιδόσεις τους. Αν η εταιρεία εκπέμπει λιγότερους τόνους διοξειδίου του άνθρακα από αυτούς που έχει δικαίωμα τότε μπορεί να πουλήσει το πλεόνασμά της. Αντίθετα, αν εκπέμπει περισσότερους τότε πρέπει να καλύψει το έλλειμμά της. Γι' αυτό υπάρχουν δύο λύσεις: είτε πληρώνει πρόστιμο για τον κάθε επιπλέον τόνο διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπει είτε αγοράζει από άλλες εταιρείες ή από το «χρηματιστήριο εκπομπών» - έτσι όπως ακριβώς γίνεται με τις μετοχές των εισηγμένων στο χρηματιστήριο εταιρειών - τους τόνους διοξειδίου του άνθρακα που της λείπουν, είτε εφαρμόζει αντιρρυπαντικές τεχνολογίες για τη μείωση των εκπομπών της. Για την ομαλή εφαρμογή του μηχανισμού εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την απόκτηση εμπειρίας σε σχέση με τη λειτουργία του πριν την έναρξη της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 2008, υιοθετήθηκε τον Οκτώβριο του 2003 η Οδηγία 2003/87 «σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της Οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου» η οποία προβλέπει τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (Emissions Trading) εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) από την 1η Ιανουαρίου του 2005.

Προκειμένου να είναι δυνατή η υλοποίηση αυτών των αγοραπωλησιών σε ευρωπαϊκό επίπεδο προσδιορίστηκε κατ' αρχήν η συνολική ποσότητα δικαιωμάτων εκπομπών (allowances) που δικαιούται το κάθε κράτος -μέλος το οποίο στη συνέχεια διένειμε τα δικαιώματα αυτά στους κλάδους - εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στην Οδηγία εκδίδοντας ταυτόχρονα και τις «Άδειες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου» ανά επιχείρηση. Επιπροσθέτως δημιουργήθηκαν τα Εθνικά Μητρώα Καταγραφής Συναλλαγών (National Registry) και συστήματα παρακολούθησης, καταγραφής και επαλήθευσης των εκπομπών από τις εγκαταστάσεις, καθώς και ένα σύστημα κυρώσεων για την ορθή και αποτελεσματική εφαρμογή των διατάξεων της Οδηγίας.

Οι άλλοι δύο μηχανισμοί που υιοθετήθηκαν αφορούν στην από κοινού υλοποίηση έργων που μειώνουν τη ρύπανση (JI: Joint Implementation) και στο μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης (CDM: Clean Development Mechanism) οι οποίοι επίσης βασίζονται στη λειτουργία της οικονομίας της αγοράς, η εφαρμογή τους όμως δεν είναι ακόμη υποχρεωτική. Η από κοινού υλοποίηση (JI) αναφέρεται σε έργα που εκτελούνται από τις εμπλεκόμενες στην εμπορία εκπομπών επιχειρήσεις σε χώρες, εκτός από εκείνη στην οποία έχουν την έδρα τους, και για τις οποίες έχουν επίσης καθοριστεί στόχοι εκπομπών, ενώ ο μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης (CDM) αναφέρεται σε έργα που εκτελούνται από αυτές σε αναπτυσσόμενες χώρες, για τις οποίες δεν έχουν καθοριστεί στόχοι μείωσης εκπομπών. Σκοπός και των τριών αυτών «ευέλικτων μηχανισμών» που προβλέπει το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου να επιτευχθεί με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και να δοθεί στις βιομηχανικές χώρες η δυνατότητα να επιτύχουν τους στόχους τους με την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπής μεταξύ τους, αλλά και με την απόκτηση πιστώσεων ως αντάλλαγμα για έργα περιορισμού των εκπομπών που υλοποιούν στο εξωτερικό συμβάλλοντας και στην προώθηση της καινοτομίας.

Το σκεπτικό στο οποίο βασίζονται οι τρεις ανωτέρω μηχανισμοί είναι ότι οι εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου αποτελούν παγκόσμιο πρόβλημα και ότι ο τόπος όπου επιτυγχάνεται ο περιορισμός τους έχει δευτερεύουσα σημασία. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να επέλθουν μειώσεις εκεί όπου το κόστος είναι χαμηλότερο, τουλάχιστον στην πρώτη φάση της καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι δεν θα γίνεται κατάχρηση των μηχανισμών αυτών έχουν συγκροτηθεί αναλυτικοί κανόνες και δομές εποπτείας οι οποίοι έχουν επικυρωθεί σε νομοθετήματα ενώ οι φορείς πιστοποίησης / επαλήθευσης, όπως το LRQA, έχουν επωμιστεί την ευθύνη για την επιβεβαίωση της ορθής διαχείρισης και αναφοράς των εκπομπών.

5.3.3.1 Παράδειγμα Μηχανισμού EU-ETS

Ας υποθεθεί ότι η οι εταιρίες A και B εκπέμπουν και οι δύο 100.000 τόνους CO₂ ετησίως. Η κυβέρνηση παρέχει σε κάθε μία από αυτές δικαιώματα εκπομπής 95.000 τόνων. Κάθε δικαίωμα αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα εκπομπής ενός τόνου CO₂. Έτσι καμία από τις δύο εταιρίες δεν καλύπτεται πλήρως για τις εκπομπές της. Στο τέλος κάθε έτους οι εταιρίες πρέπει να επιστρέψουν κάποιο πλήθος δικαιωμάτων τους αντίστοιχο στις εκπομπές τους κατά τη διάρκεια του έτους, για οποιεσδήποτε εκπομπές πρόκειται όσον αφορά τη συγκεκριμένη εταιρία. Και οι δύο εταιρίες A και B πρέπει να καλύψουν μέχρι 5.000 τόνους CO₂ και έχουν δύο τρόπους για να το επιτύχουν. Είτε μπορεί να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 5.000 τόνους είτε να αγοράσουν δικαιώματα 5.000 τόνων στην αγορά. Προκειμένου να αποφασίσουν σχετικά με τη λύση που θα επιλέξουν πρέπει να εξετάσουν το κόστος τους για τη μείωση των εκπομπών τους κατά 5.000 τόνους και να συγκρίνουν το κόστος αυτό προς την τιμή αγοράς για δικαιώματα. Ας υποθεθεί ότι η τιμή αγοράς δικαιώματος ανέρχεται παραδείγματος χάρη σε 10 € ανά τόνο CO₂. Το κόστος μείωσης για την εταιρία A ανέρχεται σε 5 € (δηλαδή χαμηλότερο σε σχέση με την τιμή αγοράς). Η εταιρία A θα μειώσει τις εκπομπές της λόγω του ότι η επιλογή αυτή είναι φθηνότερη σε σχέση με την αγορά δικαιωμάτων. Η εταιρία A είναι δυνατόν να μειώσει τις εκπομπές της κατά πλέον των 5.000 τόνων, παραδείγματος χάρη κατά 10.000 τόνους. Για την εταιρία B η κατάσταση είναι ενδεχομένως η αντίθετη και το κόστος μείωσης ανέρχεται σε 15 € (δηλαδή υψηλότερο σε σχέση με την τιμή αγοράς). Αντί για τη μείωση εκπομπών θα προτιμήσει να αγοράσει δικαιώματα.

Η εταιρία A δαπανά 50.000 € για μείωση 10.000 τόνων με κόστος 5 € ανά τόνο και λαμβάνει 50.000 € από οροφή 5.000 τόνων με τιμή 10 €. Έτσι η εταιρία A αντισταθμίζει πλήρως το κόστος της για τη μείωση των εκπομπών με πώληση δικαιωμάτων ενώ αν δεν υπήρχε το σύστημα εμπορίας εκπομπών θα έπρεπε να επωμιστεί καθαρό κόστος 25.000 €. Η εταιρία B δαπανά 50.000 € για την αγορά 5.000 τόνων σε τιμή 10 €. Αν δεν υπήρχε η προβλεπόμενη από το σύστημα εμπορίας εκπομπών ευελιξία, η εταιρία B θα έπρεπε να δαπανήσει 75.000 €. Δεδομένου ότι μόνο επιχειρήσεις με χαμηλό κόστος μείωσης, όπως η εταιρία A, οι οποίες οι οποίες για το λόγο αυτό επιλέγουν να μειώσουν τις εκπομπές τους, είναι σε θέση να πωλούν, τα δικαιώματα που αγοράζει η εταιρία B αντιπροσωπεύουν μείωση εκπομπών, ακόμη και αν η εταιρία B δεν μειώνει τις εκπομπές της η ίδια. Το γεγονός αυτό δεν πρέπει να διαφεύγει της προσοχής. Έτσι διασφαλίζεται ότι σε πρώτη φάση πραγματοποιούνται οι φθηνότερες μειώσεις. Δεδομένου ότι το σύστημα καλύπτει ολόκληρη την ΕΕ, θα επιδιωχθούν οι φθηνότερες μειώσεις στο σύνολο της ΕΕ και θα εξασφαλιστεί ότι αυτές πραγματοποιούνται πρώτες. Ακριβώς αυτή η ευελιξία του συστήματος καθιστά την εμπορία εκπομπών τον πλέον αποδοτικό σε σχέση με το κόστος τρόπο για την επίτευξη δεδομένου περιβαλλοντικού στόχου. Σε περίπτωση που η εταιρία B ήταν αναγκασμένη να μειώσει τις

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

εκπομπές στις δικές της παραγωγικές εγκαταστάσεις με υψηλότερη δαπάνη, το συνολικό κόστος για τη βιομηχανία θα ήταν υψηλότερο

5.3.3.2 Κατανομή των Δικαιωμάτων για 1^η & 2^η Φάση του Μηχανισμού

Η κατανομή των δικαιωμάτων εκπομπών γίνεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και δεν έχει τη δυνατότητα κάθε χώρα να αποφασίζει αυθαίρετα ποιο είναι το όριο των εκπομπών. Η ποσότητα δικαιωμάτων τα οποία κάποιο κράτος μέλος έχει τη δυνατότητα να διαθέτει, διέπεται από τα 11 κοινά κριτήρια διάθεσης που καθορίζονται στο παράρτημα III. Έτσι, ενώ η οδηγία δεν προβλέπει ρητά δεδομένο πλήθος δικαιωμάτων, η τήρηση των κριτηρίων θα σημαίνει ότι πρακτικώς τα περιθώρια παρέκκλισης κάθε κράτους μέλους είναι περιορισμένα. Σε περίπτωση κατά την οποία κάποιο κράτος μέλος διαθέσει με μεγάλη γενναιοδωρία δικαιώματα, όχι μόνο είναι πιθανόν ότι το σχέδιό του δεν θα ανταποκρίνεται σε ορισμένα από τα κριτήρια κατανομής αλλά το κράτος μέλος αυτό θα χάσει και την ευκαιρία χρησιμοποίησης του Συστήματος εμπορίας εκπομπών ως μέσου επικουρικού για τη συμμόρφωση προς το Κιότο.

5.3.3.3 Διαδικασία Κατανομής Δικαιωμάτων σε Κάθε Χώρα & Στο Εσωτερικό

Κάθε Χώρας

Κάθε κράτος μέλος πρέπει να καταρτίσει και να δημοσιεύσει Εθνικό σχέδιο κατανομής (ΕΣΚ). Στα σχέδια τα κράτη μέλη θα αποφασίζουν πόσα δικαιώματα θα κατανείμουν συνολικά για το χρονικό διάστημα 2005 έως 2007 και πόσα θα λαμβάνει κάθε εργοστασιακή μονάδα καλυπτόμενη από το πρόγραμμα εμπορίας εκπομπών. Τα σχέδια κατανομής θα αξιολογούνται από την Επιτροπή όσον αφορά τη συμβατότητά τους προς το νομικό πλαίσιο (ειδικότερα τα κριτήρια τα περιεχόμενα στο παράρτημα της οδηγίας αριθ. 2003/87/ΕΚ. Στην περίπτωση που κάποιο σχέδιο δεν ακολουθεί τις διατάξεις της οδηγίας ή της Συνθήκης η Επιτροπή έχει τη δυνατότητα να το απορρίπτει εν μέρει ή συνολικά. Εάν η Επιτροπή δεν απορρίψει καμία από τις παραμέτρους του σχεδίου, το κράτος μέλος μπορεί να προχωρήσει στη λήψη τελικής απόφασης για την κατανομή. Η αξιολόγηση της Επιτροπής θα εγγυάται την περιβαλλοντική ποιότητα του προγράμματος εμπορίας (π.χ. συμβατότητα σχεδίου προς τις δεσμεύσεις κράτους μέλους στο πλαίσιο Κιότο) και θα διασφαλίζει ότι δεν στρεβλώνεται αθεμίτως ο ανταγωνισμός στην εσωτερική αγορά.

Μοναδική αρμοδιότητα της Επιτροπής είναι η εξέταση των εθνικών σχεδίων κατανομής. Εντός τριών μηνών από την ημερομηνία κοινοποίησης εθνικού σχεδίου κατανομής από κράτος μέλος η Επιτροπή μπορεί να προβεί στην απόρριψή του

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

μερικώς ή συνολικώς σε περίπτωση που διαπιστώσει ότι το σχέδιο δεν συμβαδίζει με τη δέσμη κοινών κριτηρίων κατανομής που περιέχονται στο παράρτημα III της οδηγίας. Η Επιτροπή έχει δημοσιεύσει οδηγό σχετικά με την τήρηση των εν λόγω κριτηρίων κατανομής στις αρχές Ιανουαρίου έτους 2004. Άλλος λόγος απόρριψης σχεδίου είναι η πρόθεση κράτους μέλους να διαθέσει πλέον του 5% των συνολικών δικαιωμάτων προς πώληση. Είναι επίσης σημαντικό να υπογραμμιστεί η διαφάνεια των σχεδίων κατανομής. Μετά την υποβολή του στην Επιτροπή κάθε εθνικό σχέδιο κατανομής θα είναι στη διάθεση του κοινού.

5.3.3.4 Καθορισμός των Τιμών των Δικαιωμάτων Εκπομπών

Η Επιτροπή δεν έχει άποψη σχετικά με το ποία πρέπει να είναι η τιμή των δικαιωμάτων. Κατόπιν τούτου η τιμή δεν θα “καθορίζεται” αλλά θα είναι το αποτέλεσμα απόφασης των μερών της αγοράς όσον αφορά την τιμή που έχουν τη δυνατότητα να καταβάλουν για δικαιώματα ή την τιμή στην οποία έχουν τη δυνατότητα να πωλούν δικαιώματα. Δηλαδή η τιμή ουσιαστικά θα είναι συνάρτηση προσφοράς και ζήτησης όπως σε κάθε άλλη αγορά. Στον τομέα αυτό έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες μελέτες από τις οποίες κάθε μία βασιζόταν σε σειρά υποθέσεων και τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται από τους συμμετέχοντες στην αγορά προκειμένου να βοηθηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι μείζονες παράγοντες που προσδιορίζεται ότι επηρεάζουν την εξέλιξη τιμών βραχυπρόθεσμα συνίστανται στις αποφάσεις τις λαμβανόμενες στα εθνικά σχέδια κατανομής και το αποτέλεσμα των διαπραγματεύσεων για τη σχετική οδηγία. Μεσάζοντες στην αγορά προτείνουν τιμές για μικρές ποσότητες δικαιωμάτων προσφερόμενων ή προτεινόμενων για πλειοδοσία. Η Επιτροπή δεν θα παρέμβει στην αγορά δικαιωμάτων. Σε περίπτωση που παρατηρηθούν στρεβλώσεις θα ισχύσουν οι νόμοι του ανταγωνισμού όπως σε κάθε άλλη αγορά.

5.3.3.5 Στοιχεία για 1^η & 2^η Φάση

1^η Φάση (2005-2007):

→ Περιλαμβάνονταν 12.000 εγκαταστάσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το 40% των εκπεμπόμενων ρύπων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

→ Οι εγκαταστάσεις που συμμετείχαν ήταν εγκαταστάσεις ενεργειακών δραστηριοτήτων, παραγωγής και επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων, ανόργανων υλών (τσιμέντο, γυαλί κεραμικά προϊόντα) και βιομηχανίες χάρτου, πολτού και χαρτοπολτού.

→ Καλύπτονταν μόνο τις εκπομπές CO₂

→ 2,2 δις ήταν ο αριθμός των διαθέσιμων δικαιωμάτων εκπομπών που εκδίδονταν ετησίως.

→ Από το σύνολο των διαθέσιμων δικαιωμάτων εκπομπών το 95% διανέμονταν δωρεάν, ενώ το 5% δημοπρατούνταν

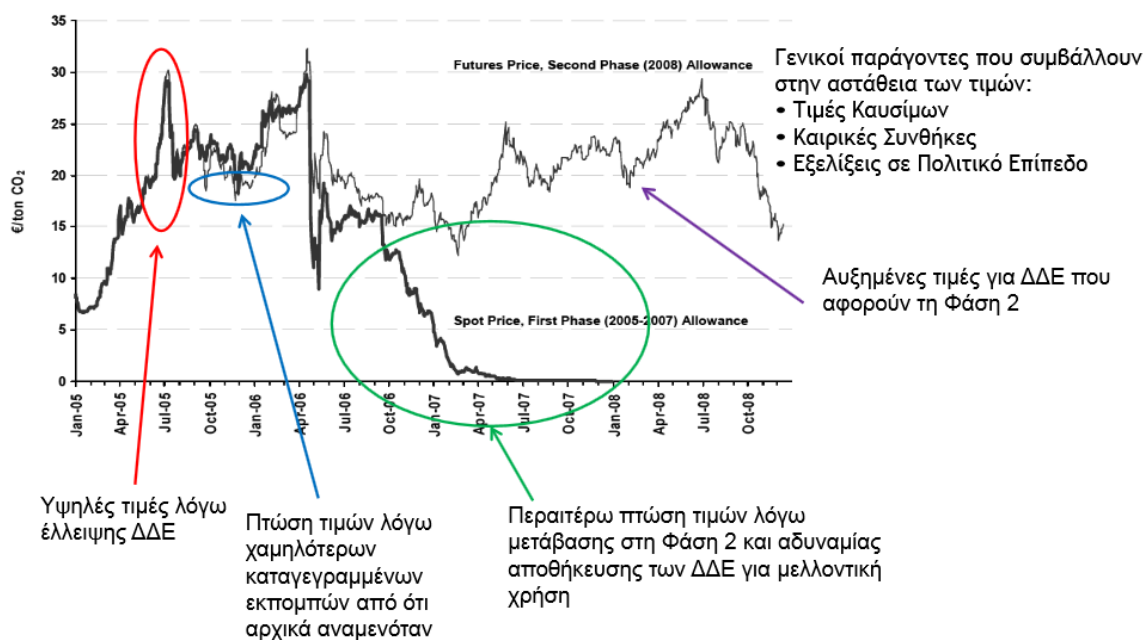
→ Το πρόστιμο για κάθε επιπλέον τόνο διοξειδίου του άνθρακα ορίζεται στα 40 EURO

→ Το πρώτο έτος πραγματοποιήθηκαν αγοραπωλησίες 362 εκ. τόνων CO₂ αξίας 7.2 δις ευρώ.

→ Το μέγιστη τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών άγγιξε τα 30 EURO/tn τον Απρίλιο του 2006, για να υποχωρήσει στα 10 EURO/tn το Μάιο του 2006, καθώς από κάποιες χώρες παραχώρησαν στις βιομηχανίες δωρεάν αποθέματα εκπομπών. Η συνέχιση του φαινομένου οδήγησε στην περαιτέρω υποχώρηση της τιμής σε 1,2 EURO/tn το Μάρτιο του 2007, για να αγγίξει τα 0,1 EURO/tn τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.28) φαίνεται η πορεία της τιμής δικαιωμάτων εκπομπών (ΔΔΕ) τόσο με τη σκούρα γραμμή για την πρώτη φάση όσο και με την γκρι για τη δεύτερη φάση.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.28: Εξέλιξη των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ στη 1^η φάση του EU-ETS

2^η Φάση (2008-2012):

→ 2,083 δις δικαιωμάτων εκπομπών εκδίδονται ετησίως.

→ Το 90% του συνόλου των διαθέσιμων δικαιωμάτων εκπομπών κατανέμονται δωρεάν, ενώ το υπόλοιπο 10% μέσω δημοπρασίας.

→ Το πρόστιμο για κάθε επιπλέον τόνο διοξειδίου του άνθρακα ορίζεται στα 100 EURO.

→ Συμμετέχουν οι Νορβηγία, Ισλανδία και το Λιχτενστάιν.

→ Επιτρέπεται η αποθήκευση των ΔΔΕ για μελλοντική χρήση.

→ Περιλαμβάνεται και η αεροπλοΐα από το 2012

5.3.3 Σχέση Αιολικής Διείσδυσης & EU-ETS

Είναι σημαντικό να πραγματοποιείται διάκριση μεταξύ του στόχου και του μέσου στη συζήτηση αυτή. Κάθε μεταβολή των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας δεν θα αποτελεί συνέπεια της εμπορίας εκπομπών αλλά της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου Κιότο. Το Πρωτόκολλο Κιότο θέτει ανώτατο όριο όσον αφορά τις επιτρεπόμενες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, πράγμα που σημαίνει ότι η οικονομία της ΕΕ μελλοντικά θα αποτελέσει οικονομία με περιορισμούς στη χρήση του άνθρακα. Οι περιορισμοί αυτοί στη χρήση του άνθρακα δίδουν αξία στα δικαιώματα και έχουν ως αποτέλεσμα μεταβολές των σχετικών τιμών στην οικονομία της ΕΕ. Αγαθά που περιέχουν περισσότερο άνθρακα θα είναι σχετικώς ακριβότερα σε σχέση με αγαθά που περιέχουν λιγότερο. Καθώς το πρόγραμμα εμπορίας αποτελεί τον φθηνότερο τρόπο για την εφαρμογή του Κιότο, κάποιες μεταβολές τιμών θα είναι τουλάχιστον αναγκαίες.

5.4 Έμμεση Επίπτωση της Διείσδυσης της Αιολικής Ενέργειας στο Επίπεδο Τιμών

5.4.1 Γραφική Ανάλυση

Όπως είδαμε παραπάνω, μέσω του συστήματος εμπορίας εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι εκπομπές CO₂ αλλά και τα υπόλοιπα ρυπογόνα και βλαβερά για το περιβάλλον αέρια έχουν αποκτήσει χρηματική αξία. Αυτό μεταφράζεται ως ένα επιπλέον κόστος για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας που μέχρι πρότινος δεν υπήρχε.

Στο προηγούμενο κομμάτι της εργασίας είδαμε πως όταν διεισδύει η αιολική ενέργεια στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, η καμπύλη προσφοράς μετακινείται προς τα δεξιά. Έτσι, το σημείο τομής με την καμπύλη ζήτησης αλλάζει και ένα νέο σημείο ισορροπίας επιτυγχάνεται στην αγορά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλα τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν οριακά κόστη μεγαλύτερα από την νέα οριακή τιμή του συστήματος να πάψουν να λειτουργούν. Ουσιαστικά εκτοπίζονται από την αγορά εκείνες τις ωρες που συμβαίνει το φαινόμενο αυτό. Όμως αυτά τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλά οριακά κόστη έχουν συνήθως ως πρώτη ύλη ορυκτά καύσιμα, πετρέλαιο, παράγωγα πετρελαίου, φυσικό αέριο και υγραέριο. Αυτό σημαίνει ότι έχουν εξαιρετικά μεγάλο συντελεστή ρύπων. Ο συντελεστής ρύπων είναι ένας συντελεστής που δείχνει πόσοι τόνοι εκπομπών CO₂ αντιστοιχούν στην παραγωγή μιας MWh. Είναι προφανές λοιπόν, πως όταν διεισδύει η αιολική ενέργεια, ειδικά όταν η αγορά ισορροπεί

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

σε ένα σχετικά υψηλό σημείο της καμπύλης προσφοράς, οι εκπομπές CO₂ μειώνονται αισθητά. Έτσι μειώνεται και η ζήτηση για δικαιώματα εκπομπών.

Περιγράψαμε ότι οι νόμοι της προσφοράς και της ζήτησης καθορίζουν την τιμή των CO₂ όπως σε κάθε ανταγωνιστική αγορά. Έτσι η μείωση της ζήτησης για τα δικαιώματα εκπομπών οδηγεί σε μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών μέσα από το χρηματιστήριο τιμών των δικαιωμάτων CO₂. Επομένως, σύμφωνα με τη θεωρία κόστους, οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας αντιλαμβάνονται αυτές τις μειώσεις των τιμών και τις εσωτερικεύουν στα τιμολόγια τους. Όταν λοιπόν σε κάποια άλλη στιγμή που όντως θα χρειαστεί να παράγουν (π.χ. όταν ο όγκος της αιολικής ενέργειας που διεισδύει στο σύστημα είναι χαμηλός λόγω χαμηλής έντασης του ανέμου ή λόγω αρκετά αυξημένη ζήτησης), τα οριακά κόστη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των παραγωγών αυτών θα είναι μειωμένα άρα θα προσφέρουν σε χαμηλότερες τιμές. Άρα αλλάζουν την καμπύλη προσφοράς εφόσον προσφέρουν σε χαμηλότερες τιμές ρίχνοντας τελικά την οριακή τιμή του συστήματος για εκείνες τις ώρες σε σύγκριση με την οριακή τιμή του συστήματος που θα προέκυπτε σε μια αντίστοιχη περίπτωση εάν δεν είχε συμβεί ο μηχανισμός αυτός. Με αυτή τη βασική και απλουστευμένη αρχική προσέγγιση φαίνεται καταρχάς ότι η έμμεση επίδραση που έχει η διείσδυση της αιολικής ενέργειας και γενικότερα των ΑΠΕ πηγάζει ουσιαστικά από το Merit Order Effect.

Όταν δημιουργείται το πλάνο κατανομής των δικαιωμάτων εκπομπών από την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι μειώσεις στις εκπομπές που προκύπτουν από τον μηχανισμό που περιγράφεται παραπάνω δεν συνυπολογίζονται.

Ο τρόπος που κατανέμονται τα δικαιώματα εκπομπών διαφοροποιεί τον τρόπο με τον οποίο προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα στην οριακή τιμή του συστήματος, όμως το τελικό μέγεθος της τελικής μείωσης της οριακής τιμής του συστήματος είναι σχετικά ανεξάρτητο.

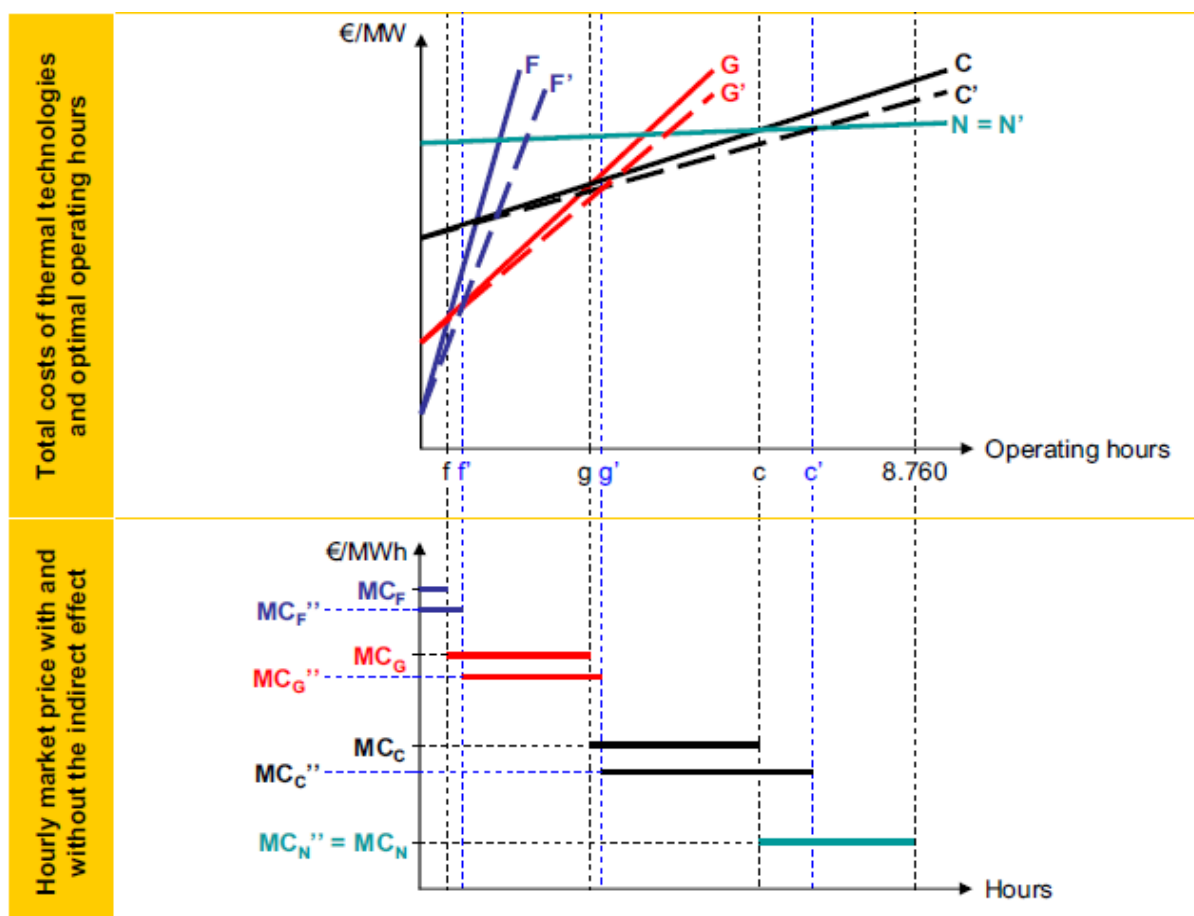
Όταν είναι δωρεάν η κατανομή των δικαιωμάτων εκπομπών (grandfathering allowance allocation method) όπως ήταν σε πολύ μεγάλο ποσοστό στην πρώτη και στη δεύτερη φάση του μηχανισμού EU-ETS τότε οι παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντιλαμβάνονται την μείωση στις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπών στο χρηματιστήριο CO₂ ως μείωση του κόστους ευκαιρίας που τελικά ενσωματώνουν στην οριακή κοστολόγηση της παραγωγής τους. Όταν ένας επενδυτής ή επιχειρηματίας επιλέγει μια από δυο διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές, τα έσοδα που θα αποκόμιζε από την υλοποίηση της δεύτερης επιλογή, τα οποία όμως τελικά δεν πραγματώνονται, μεταφράζονται ως κόστος στην δεύτερη επιλογή. Το κόστος αυτό ονομάζεται κόστος ευκαιρίας. Όταν ένα παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας επιλέγει να παράγει, δημιουργεί εκπομπές και έτσι μειώνει τα δικαιώματα εκπομπής που έχει διαθέσιμα. Η εναλλακτική επιλογή είναι να μην παράγει και να πουλήσει τον αντίστοιχο αριθμό δικαιωμάτων εκπομπών στο χρηματιστήριο CO₂ αποκομίζοντας κάποια έσοδα. Επομένως, όταν τελικά αποφασίζει να παράγει, μέσα στο οριακό κόστος παραγωγής συμπεριλαμβάνονται και τα εν δύναμη έσοδα της δεύτερης επιλογής με την μορφή κόστους ευκαιρίας, αυξάνοντας το οριακό κόστος. Η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

όπως προκύπτει από το μηχανισμό που είδαμε παραπάνω συνεπώς μειώνει το επίπεδο του κόστους ευκαιρίας άρα και το επίπεδο του οριακού κόστους των παραγωγών οδηγώντας σε χαμηλότερη οριακή τιμή του συστήματος.

Στην περίπτωση που η κατανομή των δικαιωμάτων εκπομπών γίνεται μέσω δημοπρασίας (auction allowance allocation method) ο μηχανισμός είναι αρκετά πιο προφανής. Οι παραγωγή ενσωματώνουν το κόστος που προκύπτει από την αγορά των δικαιωμάτων εκπομπών στο οριακό κόστος παραγωγής το οποίο αυξάνεται. Το γεγονός ότι το κόστος απόκτησης των δικαιωμάτων ενσωματώνεται στο οριακό κόστος είναι λογικό διότι το μέγεθος του κόστους απόκτησης των δικαιωμάτων είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το μέγεθος της παραγωγής. Αυτό ισχύει διότι αυξημένη παραγωγή σημαίνει αυξημένες εκπομπές συνεπώς ανάγκη για περισσότερα δικαιώματα. Η μείωση επομένως των τιμών εκπομπών πολύ λογικά μετακυλιεται στο οριακό κόστος παραγωγής των εργοστασίων οδηγώντας σε μειωμένη οριακή τιμή του συστήματος.

Η διαδικασία αυτή φαίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα (Σχ.29).



Σχ.29 : Μεταβολή οριακού κόστους λόγω έμμεσης επίπτωσης

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στο σχήμα φαίνεται πως αλλάζει η κλίση του συνολικού κόστους για κάθε τύπο εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κλίση της καμπύλης συνολική κόστους ισούτε με το οριακό κόστος. Το F συμβολίζει τα εργοστάσια που έχουν ως πρώτη ύλη καύσιμα όπως το πετρέλαιο. Το G συμβολίζει τα εργοστάσια που βασίζονται στο φυσικό αέριο ή το υγραέριο, το C τα εργοστάσια που έχουν βάση τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας και τέλος το N συμβολίζει τα πυρηνικά εργοστάσια.

Στο δεύτερο μισό του σχήματος φαίνεται πως μειώνεται το οριακό κόστος για κάθε τύπο εργοστασίου. Ακόμα φαίνεται ότι οι ωρες μέσα στο χρόνο (8760h) που θέτει την τιμή κάθε τύπος εργοστασίου αλλάζει, με τις ωρες των εργοστασίων αυξημένου οριακού κόστους να αυξάνονται εις βάρος των πυρηνικών εργοστασίων. Ουσιαστικά, μας δείχνει ότι η αγορά ισορροπεί πλέον περισσότερες ωρες σε εκείνο το σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς και της καμπύλης ζήτησης όπου το τελευταίο εργοστάσιο που ορίζει την τιμή ανήκει σε κάποιον από τους πρώτους τρεις τύπους εργοστασίου. Ο λόγος που συμβαίνει το γεγονός αυτό θα εξηγηθεί αναλυτικά στις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό συρρικνώνει τη μείωση της οριακής τιμής του συστήματος που προκύπτει όμως σε καμία περίπτωση δεν την ισοσκελίζει.

Έπισης, η διαδικασία αυτή επαληθεύεται και σε περίπτωση που μηχανισμός στήριξης των ΑΠΕ δεν είναι βασισμένος σε FIT ή σε FIT Premiums αλλά και σε Tradable Green Certificates (TGC). Οι Unger και Ahlgren το 2005 ανέλυσαν την αλληλεπίδραση του EU-ETS με έναν ποσοτικό μηχανισμό στήριξης βασισμένο σε πράσινα πιστοποιητικά (TGC) για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών Σουηδία, Δανία, Νορβηγία και Φινλανδία και κατέληξαν σε αντίστοιχα αποτελέσματα όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω. Κατέληξαν ότι η είσοδος ποσοτήτων ΑΠΕ μέσω των πράσινων πιστοποιητικών μείωσε τόσο τη τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ όσο και τις τιμές χονδρικής της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, υποθέτοντας γραμμική μείωση των συνολικών δικαιωμάτων εκπομπών κατά 30% μέχρι το 2023, ένα ποσό ενέργειας προερχόμενο μέσα από τα πράσινα πιστοποιητικά της τάξης του 25% της συνολικής διακινούμενης ενέργειας οδηγεί τις τιμές λιανικής σε τιμή 3,5 EURO/MWh σε σχέση με την τιμή λιανικής εάν δεν υπήρχε στην αγοράς αυτός ο όγκος ανανεώσιμης ενέργειας.

5.4.2 Αλγεβρική Μοντελοποίηση

5.4.2.1 Παραμετροποίηση της Έμμεσης Επίπτωσης στη Τιμή Χονδρικής

Στο σημείο αυτό θα γίνει η μαθηματική ανάλυση που μοντελοποιεί το φαινόμενο της έμμεσης επίπτωσης της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ενέργειας. Θα διερευνήσουμε τη σχέση της μείωσης της οριακής τιμής του συστήματος (τιμή χονδρικής) με την τελική τιμή που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές (τιμή λιανικής). Στη διερεύνηση αυτή δεν θα λάβουμε υπόψη τα αποτελέσματα της άμεσης επίπτωσης που είδαμε στο προηγούμενο μέρος, ώστε να μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα αμιγώς για τον μηχανισμό αυτό.

Αρχικά η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ (ΔΕ) λόγω της αυξημένης αιολικής παραγωγής εξαρτάται από την συνάρτηση που συνδέει την τιμή των ΔΕ με την συνολική ποσότητα των ΔΕ. Η σχετική συνάρτηση που συνδέει την ποσότητα Q_c των εκπομπών CO₂ με την αντίστοιχη τιμή P_c των ΔΕ έστω ότι είναι f. Τη μορφή της συνάρτησης f δεν μπορούμε να την γνωρίζουμε ακριβώς όμως ως πρώτη εκτίμηση θεωρούμε ότι είναι γραμμική, αύξουσα και ότι περνάει από την αρχή των αξόνων. Επομένως έχουμε :

$$f = \frac{P_c}{Q_c}$$

Στην ανάλυση μας θα υποθέσουμε ότι υπάρχει ήδη ένα ποσό αιολικής ενέργειας το οποίο είναι ενσωματωμένο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας Q_R ενώ τις μεταβολές μας θεωρούμε ότι τις προκαλεί ένα επιπλέον ποσό αιολικής ενέργειας ΔQ_R που εισέρχεται στην αγορά. Αυτή η υπόθεση γίνεται ώστε να γίνει πιο ρεαλιστικό το σενάριο εφόσον πράγματι ήδη υπάρχει ένας όγκος αιολικής ενέργειας που έχει διείσδυση στην αγορά και μελετάμε περαιτέρω αύξηση του βαθμού διείσδυσης. ΔQ_R είναι η διαφορά μεταξύ του Q_R και της μέσης αιολικής παραγωγής κατά την υποεξέταση περίοδο του EU-ETS. Η τιμή της ενέργειας που υποκαθίσταται μέσω το μηχανισμού του merit order effect θα συμβολίζεται με P_w, σε αντίθεση με πριν που τη συμβολίζαμε με p_R διότι πλέον θα συμβολίσουμε με P_R την τιμή λιανικής, και είναι ουσιαστικά η οριακή τιμή του συστήματος μετά την επίτευξη της νέας ισορροπίας του συστήματος όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο κομμάτι. Η διαφορά μεταξύ της του επιπέδου των σταθερών τιμών πληρωμών R και της οριακής τιμής του συστήματος P_w θα συμβολίζεται με S

$$S = R - P_w$$

Υποθέτουμε και σε αυτή την περίπτωση ότι το επιπλέον κόστος για την χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν πληρώνεται από το κράτος, τον διαχειριστή του συστήματος ή κάποια άλλη υπηρεσία αλλά διανεμίζεται ομοιόμορφα στο σύνολο της συναλλασσόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της αύξησης στην τιμή λιανικής P_R συμβολίζεται και σε αυτή την περίπτωση με m. Επίσης προκειμένου

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

να διαπιστωθεί ο όγκος της μείωσης των εκπομπών CO₂ λόγω της αιολικής ενέργειας που υποκαθιστά τη συμβατικά παραγόμενη ενέργεια, πρέπει να γνωρίζουμε τον συντελεστή εκπομπών της υποκαθιστούμενης ενέργειας. Αυτόν τον συντελεστή τον ονομάζουμε E_s (gr CO₂/ KWh). Ωστόσο, μπορούμε να γνωρίζουμε τον συντελεστή εκπομπών των διαφορετικών μεθόδων παραγωγής από συμβατικές πηγές. Επίσης, τα εργοστάσια με υψηλά οριακά κόστη που βρίσκονται στο τέλος της καμπύλης προσφοράς είναι που εκτοπίζονται από την αγορά άρα οι ενέργεια εκείνων υποκαθίσταται τελικά. Έτσι, μπορούμε με ασφάλεια να ισχυριστούμε ότι ο συντελεστής εκπομπών E_m προσεγγίζει αρκετά καλά τον συντελεστή εκπομπών που αντίστοιχη στην υποκαθιστούμενη ενέργεια E_s (άρα E_m= E_s).

Τέλος, εφόσον θεωρούμε γνωστή την τιμή εκκαθάρισης του συστήματος P_w, πριν την επιπλέον αιολική διείσδυση, θεωρούμε γνωστή και την συνολική ζήτηση που υπάρχει και την συμβολίζουμε με q.

Θα επιδιώξουμε να ποσοτικοποιήσουμε τη συνολική επίπτωση στις τελικές τιμές που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές n (net effect).

Αρχικά η μείωση της ποσότητας Q_c των εκπομπών μέσω της υποκατάστασης της συμβατικής ενέργειας είναι (1):

$$\Delta Q_c = -\Delta Q_R * E_s$$

Επειδή ΔQ_R, E_s > 0 → ΔQ_c < 0

Όμως από την αρχική σχέση (2):

$$\Delta P_c = f * \Delta Q_c$$

Η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών ΔP_c όπως αναλύσαμε μεταφράζεται σε μείωση του οριακού κόστους των εργοστασίων και, εφόσον η καμπύλη προσφορών είναι η αθροιστική καμπύλη οριακών κοστών, η μείωση του οριακού κόστους μεταφράζεται σε μείωση την οριακής τιμής του συστήματος (3):

$$\Delta P_w = \Delta P_c * E_m$$

$$\Delta \left(\frac{\text{Euro}}{\text{KWh}} \right) = \Delta \left(\frac{\text{Euro}}{\text{grCO}_2} \right) * \left(\frac{\text{grCO}_2}{\text{KWh}} \right)$$

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Έτσι προκύπτει η πρώτη σχέση που συνδέει την μεταβολή της ενσωματούμενης ποσότητας αιολικής ενέργειας με την μεταβολή της οριακής τιμής του συστήματος (4):

$$\Delta P_w = -f * \Delta Q_R * E_s * E_m$$

Στο σημείο αυτό θα γίνει η μαθηματική ανάλυση που μοντελοποιεί το φαινόμενο της έμμεσης επίπτωσης της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Θα διερευνήσουμε τη σχέση της μείωσης της οριακής τιμής του συστήματος (τιμή χονδρικής) με την τελική τιμή που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές (τιμή λιανικής). Στη διερεύνηση αυτή δεν θα λάβουμε υπόψη τα αποτελέσματα της άμεσης επίπτωσης που είδαμε στο προηγούμενο μέρος, ώστε να μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα αμιγώς για τον μηχανισμό αυτό.

Αρχικά η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ (ΔΕ) λόγω της αυξημένης αιολικής παραγωγής εξαρτάται από την συνάρτηση που συνδέει την τιμή των ΔΕ με την συνολική ποσότητα των ΔΕ. Η σχετική συνάρτηση που συνδέει την ποσότητα Q_c των εκπομπών CO₂ με την αντίστοιχη τιμή P_c των ΔΕ έστω ότι είναι f. Τη μορφή της συνάρτησης f δεν μπορούμε να την γνωρίζουμε ακριβώς όμως ως πρώτη εκτίμηση θεωρούμε ότι είναι γραμμική, αύξουσα και ότι περνάει από την αρχή των αξόνων. Επομένως έχουμε :

$$f = \frac{P_c}{Q_c}$$

Στην ανάλυση μας θα υποθέσουμε ότι υπάρχει ήδη ένα ποσό αιολικής ενέργειας το οποίο είναι ενσωματωμένο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας Q_R ενώ τις μεταβολές μας θεωρούμε ότι τις προκαλεί ένα επιπλέον ποσό αιολικής ενέργειας ΔQ_R που εισέρχεται στην αγορά. Αυτή η υπόθεση γίνεται ώστε να γίνει πιο ρεαλιστικό το σενάριο εφόσον πράγματι ήδη υπάρχει ένας όγκος αιολικής ενέργειας που έχει διείσδυση στην αγορά και μελετάμε περαιτέρω αύξηση του βαθμού διείσδυσης. ΔQ_R είναι η διαφορά μεταξύ του Q_R και της μέσης αιολικής παραγωγής κατά την υποεξέταση περίοδο του EU-ETS. Η τιμή της ενέργειας που υποκαθίσταται μέσω το μηχανισμού του Merit Order Effect θα συμβολίζεται με P_w, σε αντίθεση με πριν που τη συμβολίζαμε με p_R διότι πλέον θα συμβολίσουμε με P_R την τιμή λιανικής, και είναι ουσιαστικά η οριακή τιμή του συστήματος μετά την επίτευξη της νέας ισορροπίας του συστήματος όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο κομμάτι. Η διαφορά μεταξύ της του επιπέδου των σταθερών τιμών πληρωμών R και της οριακής τιμής του συστήματος P_w θα συμβολίζεται με S

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

$$S = R - P_w$$

Υποθέτουμε και σε αυτή την περίπτωση ότι το επιπλέον κόστος για την χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν πληρώνεται από το κράτος, τον διαχειριστή του συστήματος ή κάποια άλλη υπηρεσία αλλά διανεμίζεται ομοιόμορφα στο σύνολο της συναλλασσόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της αύξησης στην τιμή λιανικής P_R συμβολίζεται και σε αυτή την περίπτωση με m .

Επίσης προκειμένου να διαπιστωθεί ο όγκος της μείωσης των εκπομπών CO_2 λόγω της αιολικής ενέργειας που υποκαθιστά τη συμβατικά παραγόμενη ενέργεια, πρέπει να γνωρίζουμε τον συντελεστή εκπομπών της υποκαθιστούμενης ενέργειας. Αυτόν τον συντελεστή τον ονομάζουμε E_s (gr CO_2 / kWh). Ωστόσο, μπορούμε να γνωρίζουμε τον συντελεστή εκπομπών των διαφορετικών μεθόδων παραγωγής από συμβατικές πηγές. Επίσης, τα εργοστάσια με υψηλά οριακά κόστη που βρίσκονται στο τέλος της καμπύλης προσφοράς είναι που εκτοπίζονται από την αγορά άρα οι ενέργεια εκείνων υποκαθίσταται τελικά. Έτσι, μπορούμε με ασφάλεια να ισχυριστούμε ότι ο συντελεστής εκπομπών E_m προσεγγίζει αρκετά καλά τον συντελεστή εκπομπών που αντίστοιχη στην υποκαθιστούμενη ενέργεια E_s (άρα $E_m = E_s$).

Τέλος, εφόσον θεωρούμε γνωστή την τιμή εκκαθάρισης του συστήματος P_w , πριν την επιπλέον αιολική διείσδυση, θεωρούμε γνωστή και την συνολική ζήτηση που υπάρχει και την συμβολίζουμε με q .

Θα επιδιώξουμε να ποσοτικοποιήσουμε τη συνολική επίπτωση στις τελικές τιμές που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές n (net effect).

Αρχικά η μείωση της ποσότητας Q_c των εκπομπών μέσω της υποκατάστασης της συμβατικής ενέργειας είναι (1):

$$\Delta Q_c = -\Delta Q_R * E_s$$

$$\text{Επειδή } \Delta Q_R, E_s > 0 \rightarrow \Delta Q_c < 0$$

Όμως από την αρχική σχέση (2):

$$\Delta P_c = f * \Delta Q_c$$

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών ΔP_c όπως αναλυσαμε μεταφράζεται σε μείωση του οριακού κόστους των εργοστασίων και, εφόσον η καμπύλη προσφορών είναι η αθροιστική καμπύλη οριακών κοστών, η μείωση του οριακού κόστους μεταφράζεται σε μείωση την οριακής τιμής του συστήματος (3):

$$\Delta P_w = \Delta P_c * E_m$$

$$\Delta \left(\frac{\text{Euro}}{\text{KWh}} \right) = \Delta \left(\frac{\text{Euro}}{\text{grCO}_2} \right) * \left(\frac{\text{grCO}_2}{\text{KWh}} \right)$$

Έτσι προκύπτει η πρώτη σχέση που συνδέει την μεταβολή της ενσωματούμενης ποσότητας αιολικής ενέργειας με την μεταβολή της οριακής τιμής του συστήματος (4):

$$\Delta P_w = -f * \Delta Q_R * E_s * E_m$$

5.4.2.2 Τελικό Αντίκτυπο στη Μελλοντική Τιμή Λιανικής με Παρούσα Αιολική Διείσδυση για Επιπλέον Μελλοντική Αιολική Διείσδυση

Προκειμένου να φτάσουμε σε συμπεράσματα για την τελική επίπτωση που υπάρχει στην τιμή λιανικής που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές πρέπει να εξετάσουμε την παράμετρο του αυξανόμενου κόστους που επωμίζονται για την στήριξη των ΑΠΕ που προκαλούν τις παραπάνω μειώσεις των τιμών. Αρχικά, το επιπλέον κόστος για το την επιπλέον ποσότητα αιολικής ενέργειας ΔQ_R ισούτε με

$$m = S * \left(\frac{\Delta Q_R}{q} \right)$$

Όμως η πτώση της τιμής χονδρικής P_w που προκαλείται από την επιπλέον ποσότητα ΔQ_R επηρεάζει και τις πληρωμές για την υπάρχουσα ποσότητα Q_R καθώς το χάσμα $S = R - P_w$ αυξάνεται. Η μεταβολή του S πρακτικά ισούτε με την μεταβολή της τιμής χονδρικής καθώς το επίπεδο των σταθερών πληρωμών R είναι αμετάβλητο. Επομένως καταλήγουμε στην σχέση (5):

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

$$\Delta m = \frac{\Delta QR}{q} * (S - \Delta Pw) - \frac{QR}{q} * \Delta Pw$$

Η ποσότητα αυτή που υπολογίζεται δεν είναι το συνολικό επίπεδο χρηματοδότησης για τον μηχανισμό που υποστηρίζει την διείσδυση των ΑΠΕ αλλά συγκεκριμένα η αύξηση του κόστους λόγω της επιπλέον διείσδυσης αιολικής ενέργειας ΔQ_R .

Επομένως και πριν η τελική επίπτωση είχε δυο συνιστώσες. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα θα δούμε την μεταβολή της συνολικής επίπτωσης που έχει η επίπτωση της επιπλέον ενσωματούμενης αιολικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση αυτή έχουμε θεωρήσει μια ποσότητα αιολική ενέργειας ως δεδομένη και προυπάρχουσα στην κατάσταση που αναλύουμε. Επομένως προκύπτει η σχέση (6):

$$\Delta n = \Delta m + \Delta Pw$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (4), (5) η σχέση (6) γίνεται (7):

$$\Delta n = \Delta QR * \left(\frac{S}{q} + \frac{QR * E_s * E_m * f}{q} - E_s * E_m * f \right) + \Delta QR^2 * \frac{E_s * E_m * f}{q}$$

Στην σχέση (7) παρατηρούμε ότι ο όρος που προκαλεί μείωση της τιμής είναι γραμμικός ενώ ο αυξητικός όρος είναι εις το τετράγωνο. Αυτό δείχνει ότι η επίδραση που μειώνει την τιμή χονδρικής και κατ'επέκταση συγκρατεί τη τιμή λιανικής εξασθενεί με αυξανόμενους όγκους ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας. Αυτό βέβαια συμβαίνει σε πολύ μεγάλους βαθμούς διείσδυσης της αιολικής ενέργειας.

Έχοντας αναλύσει θεωρητικά την έμμεση επίδραση που έχει η διείσδυση αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθεί μια αριθμητική αποτίμηση αυτής της επίδρασης για την αγορά της Γερμανίας.

5.4.2.3 Τελικό Αντίκτυπο στη Τιμή Λιανικής Σήμερα Αν στο Παρελθόν Δεν

Υπήρχε Αιολική Διείσδυση

Όμως είναι πιο χρήσιμο να αντιμετωπίσουμε την ανάλυση υπο ένα λίγο διαφορετικό πρίσμα το οποίο είναι και πιο ρεαλιστικό και πιο εύκολο να υπολογιστεί διότι υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία. Στην παραπάνω ανάλυση είδαμε τη μελλοντικά μεταβολή του τελικού κόστους που επωμίζονται οι καταναλωτές εάν θεωρήσουμε υπάρχουσα αιολική

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

διείσδυση Q_R και επιπλέον διείσδυση ΔQ_R . Μια εναλλακτική ανάγνωση θα ήταν να δούμε την τιμή που θα υπήρχε σήμερα εάν δεν είχε προστεθεί ΔQ_R επιπλέον ποσότητα στο παρελθόν. Η μόνη διαφορά είναι στη σχέση (5) η οποία γίνεται (8):

$$\Delta m = \frac{\Delta Q_R}{q} * S - \frac{Q_R}{q} * \Delta P_w$$

Ο όρος $-\Delta P_w$ δεν υπάρχει πλέον στο πρώτο μέρος της εξίσωσης διότι πριν δεν γνωρίζαμε ποια θα είναι η μεταβολή στην τιμή P_w με την επιπλέον διείσδυση της αιολικής ενέργειας, οπότε την παραμετροποιούσαμε. Τώρα θεωρώ ως δεδομένη την τελική τιμή και όχι την αρχική στον υπολογισμό του όρου S και η μεταβολή ΔP_w αναφέρεται στην τιμή χονδρικής εάν δεν είχαμε την επιπλέον διείσδυση που στην πραγματικότητα υπάρχει. Μια διαφορετική ανάγνωση που καθιστά αντιληπτή την διαφορά είναι ότι για τον πρώτο ορο καταλήγω σήμερα σε μια τιμή P_w που γνωρίζω άρα γνωρίζω και τον ορο S που είναι το χάσμα σήμερα μεταξύ της τιμής P_w και της τιμής FIT. Άρα σε σχέση με το παρελθόν το κόστος σήμερα έχει αυξηθεί ανα $KWh \frac{\Delta Q_R}{q} * S$. Όμως η αξία και της αιολικής παραγωγής, πέραν της αύξησης, που είναι ίση με Q_R και υπήρχε στο παρελθόν μειώνεται διότι η νέα τιμή χονδρικής που έχω σήμερα είναι μικρότερη από ότι πριν. Οπότε η μείωση της αξίας της ποσότητας Q_R μεταφράζεται ως επιπλέον κόστος μέσω του δεύτερου όρου της εξίσωσης

Η ισοδύναμη σχέση (6) ή (7) σε αυτή την περίπτωση είναι (9):

$$\Delta n = \Delta Q_R * \left(\frac{S}{q} + \frac{Q_R * E_s * E_m * f}{q} - E_s * E_m * f \right)$$

Αυτή τη σχέση θα χρησιμοποιήσουμε για την αριθμητική αποτίμηση. Όμως επειδή όπως είδαμε και προηγούμενος οι μεγάλοι καταναλωτές έχουν διαφορετική μεταχείριση όσον αφορά τη συμμετοχή τους στη χρηματοδότηση του EEG θα υλοποιήσουμε μια διαφορετική προσέγγιση. Οι επιχειρήσεις που καταναλώνουν περισσότερο από 10 GWh/a και έχουν ηλεκτρικά κόστη περισσότερο από το 15% της συνολικής προστιθέμενης αξίας εξαιρούνται από μηχανισμό στήριξης των ΑΠΕ. Άλλες επιχειρήσεις βρίσκονται επίσης σε αντίστοιχες προνομιακές διατάξεις όσον αφορά τη χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης. Έτσι θα πολλαπλασιάσουμε την εξίσωση (8) με 1.1 ώστε να προσεγγίσουμε την αύξηση του κόστους που επωμίζονται οι υπόλοιποι καταναλωτές.

Έτσι προκύπτει η εξίσωση (10):

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

$$\Delta n = \Delta QR * \left(\frac{S}{q} * 1.1 + \frac{QR * E_s * E_m * f}{q} * 1.1 - E_s * E_m * f \right)$$

Στο σημείο αυτό θα αρχικοποιήσουμε και τις υπόλοιπες σταθερές. Οι τιμές των σταθερών είναι βασισμένες σε στοιχεία της των πρώτων φάσεων του EU-ETS. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν αρκετά στοιχεία για εκείνες τις περιόδους σε αντίθεση με την 3^η φάση, η οποία ξεκινάει τώρα. Διαφορετικές παραμετροποιήσεις οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα όμως η ουσία της ανάλυσης παραμένει η ίδια.

Αρχικά θεωρούμε ποσότητα $Q_c = 70$ Mt/a και τιμή $P_c = 20$ Euro/t . Η μεταβλητές αυτές έχουν μεγάλο βαθμό ευαισθησίας και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα ωστόσο μια αρχική προσέγγιση είναι αναγκαία. Έπειτα μπορούν να γίνουν πολλές επαναλήψεις με διαφορετικές τιμές για να μελετηθούν οι διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας μεθόδους αριθμητικής άλγεβρας. Έτσι, η κλίση της συνάρτησης που συνδέει τα μεγέθη Q_c , P_c προκύπτει

$$f = 0.29 \left(\frac{\text{Euro}}{t} \right) / \left(\frac{\text{Mt}}{a} \right)$$

Για λόγους συνέπειας θα χρησιμοποιήσουμε τιμές διείσδυσης ΑΠΕ της περιόδου εκείνη (2002-2007) παρότι υπάρχουν πιο σύγχρονα στοιχεία που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε. Άρα θεωρούμε αρχικά $Q_R = 19$ TWh/a και στο διάστημα εκείνο $\Delta Q_R = 30$ TWh. Ακόμα όπως και στο προηγούμενο κομμάτι της εργασίας θέτουμε το επίπεδο των σταθερών τιμών πληρωμών να είναι $R = 90$ Euro/MWh. Έτσι προκύπτει το κόστος:

$$S = 90 \text{ Euro/MWh} - P_w$$

Ακόμα, με βάση την ανάλυση των Klobasa & Ragwitz (2005), ο συντελεστής εκπομπών για την υποκαταστούμενη ενέργεια προκύπτει περίπου $E_s = 875$ gr/KWh ενώ υποθέτουμε ότι $E_m = E_s$.

Τέλος, η μέση ετήσια κατανάλωση για την Γερμανία την περίοδο εκείνη ήταν περίπου $q = 477$ TWh/a ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή εκκαθάρισης του συστήματος προσεγγίζεται $P_w = 40$ Euro/MWh.

Να σημειωθεί ότι στον σχηματισμό της τιμής αυτής συμπεριλαμβάνεται το κόστος των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ είτε με την μορφή του κόστους ευκαιρίας είτε με την μορφή

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

του ουσιαστικού κόστους απόκτησης των δικαιωμάτων εκπομπών. Όμως αυτός ο υπολογισμός της τιμής έχει γίνει πριν την μείωση του κόστους των δικαιωμάτων που επιτυγχάνεται μέσω του μηχανισμού που περιγράφεται άνωθεν.

Με βάση τις παραπάνω υποθέσεις προκύπτει τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ κατά 27% μικρότερη από ότι εάν δεν υπήρχε η αντίστοιχη ενσωμάτωση των επιπλέον ΑΠΕ. Επίσης, προκύπτει μειωμένη τιμή χονδρικής κατά 6,4 Euro/ MWh σε σχέση με την τιμή που θα υπήρχε δίχως την ενσωμάτωση των επιπλέον ΑΠΕ. Ακόμα, το συνολικό κόστος για τη χρηματοδότηση του μηχανισμού EEG αυξάνεται κατά 3,8 Euro/ MWh. Τέλος, η τιμή λιανικής που αντιλαμβάνονται οι τελικοί καταναλωτές είναι θα ήταν κατά 2,6 Euro/ MWh αυξημένη εάν δεν υπήρχε ο μηχανισμός στήριξης EEG. Αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει υποθέτοντας καμπύλη οριακού κόστους δικαιωμάτων CO₂ με κλίση $0,29 \left(\frac{\text{Euro}}{\text{t}} \right) / \left(\frac{\text{Mt}}{\text{a}} \right)$. Εάν λυθεί το πρόβλημα ως προς την κλίση f της συνάρτησης που σχετίζει τις μεταβλητές Q_c , P_c προκύπτει ότι το net effect γίνεται οριακά μηδενικό για τους τελικούς καταναλωτές για τιμή της κλίσης f ίση με $0,16 \left(\frac{\text{Euro}}{\text{t}} \right) / \left(\frac{\text{Mt}}{\text{a}} \right)$

5.4.3 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε δεδομένα της 1^{ης} και 2^{ης} φάσης του μηχανισμού στήριξης. Τώρα με αυξημένο βαθμό διείσδυσης το αντίκτυπο όπως είδαμε θα ήταν πολύ μικρότερο καθώς εξασθενεί ο μηχανισμός της έμμεσης επίδρασης όσο αυξάνεται το συνολικό ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ. Επίσης, τα αποτελέσματα είναι μάλλον αισιόδοξα με ορισμένη προκατάληψη (BIAS) προς όφελος του μηχανισμού στήριξης των ΑΠΕ. Όμως σε κάθε περίπτωση είναι προφανές ότι εάν δεν είχε συνυπολογιστεί ο μηχανισμός της έμμεσης μείωσης της τιμής χονδρικής, η τελική τιμή λιανικής λόγω χρηματοδοτήσεων του μηχανισμού στήριξης θα ήταν πολύ μεγαλύτερη. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι σε κανένα σημείο δεν έχει συνυπολογιστεί το άμεσο αντίκτυπο που έχει στη μείωση της οριακής τιμής του συστήματος η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας και η ανάλυση αφορά αποκλειστικά την έμμεση επίδραση που προκύπτει ως παρενέργεια του Merit Order Effect.

Στο σημείο αυτό θα μπορούσε κάποιος να παρατηρήσει ότι παρόμοια ανάλυση θα μπορούσε να ισχύει και για τις τιμές των καυσίμων. Αντίστοιχα, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται στο επάνω μέρος της καμπύλης προσφοράς έχουν μεγάλη εξάρτηση σε ορυκτά καύσιμα ή παράγωγα ορυκτών καυσίμων. Επομένως όταν εκτοπίζονται από την αγορά ενέργειας λόγω του merit order effect είναι απολύτως λογικό να γίνονται συνολικά χαμηλότερες καταναλώσεις καυσίμων. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερη ζήτηση σε τέτοιου τύπου καύσιμα και συνεπώς σε χαμηλότερες τιμές του στην αγορά καυσίμων. Έτσι, τα οριακά κόστη των εργοστασίων αυτών θα μειώνονταν και

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Θα μεταβάλλονταν η μορφή της καμπύλης προσφοράς καταλήγοντας σε χαμηλότερες μέσες οριακές τιμές την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες παρατηρήσεις σε σχέση με τον μηχανισμό αυτό. Καταρχάς, η αγορά καυσίμων είναι πολύ πιο μεγάλη από την αντίστοιχη αγορά CO₂. Έχει μεγαλύτερη κεφαλαιοποίηση και σαφώς μεγαλύτερο συνολικό ποσό ετήσιων συναλλαγών. Επομένως, θα ήταν πολύ πιο δύσκολο να επηρεάσει η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας συνολικά τις τιμές. Σε αντίθεση, η αγορά CO₂ που είναι ευρωπαϊκή είναι πιο εύκολο να επηρεαστεί. Ακόμα και στη 3^η φάση του EU-ETS, που δεν θα υπάρχουν ανα χώρα περιορισμοί και συνολικά διαθέσιμα δικαιώματα εκπομπών αλλά θα είναι πανευρωπαϊκά ενιαίο το όριο, δεν αλλάζει κάτι διότι παράλληλα η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί με επιτακτικό τρόπο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε όλες τις χώρες μαζί με το σύστημα διαχείρισης εκπομπών. Έτσι, επιτυγχάνεται συντονισμός μεταξύ των ηλεκτρικών αγορών των επιμέρους κρατών-μελών και οι συνολικές μειώσεις εκπομπών από όλες τις χώρες μαζί λόγω των επιμέρους αντίστοιχων merit order effect είναι υπεραρκετές για να επηρεάσουν τις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπών με τον τρόπο που περιγράψαμε.

Δεύτερον, ακόμα και αν επηρεάζεται και η αγορά καυσίμων από την αντίστοιχη μείωση στην ζήτηση των καυσίμων, η μοντελοποίηση αυτής της σκοπιάς είναι εξαιρετικά δύσκολη για ένα συνολικό αντίκτυπο στην οριακή τιμή του συστήματος αρκετά μικρό και δεν είναι στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κομμάτι της εργασίας, κάθε τύπος εργοστασίου βασίζεται σε διαφορετικά καύσιμα. Σε αντίθεση με τις εκπομπές CO₂ όπου μεταβάλλεται μόνο η ποσότητα τους σύμφωνα με τον συντελεστή εκπομπών κάθε τεχνολογίας και καυσίμου, το γεγονός ότι τα ίδια τα καύσιμα είναι διαφορετικά και έχουν διαφορετικές τιμές περιπλέκει εξαιρετικά πολύ την ανάλυση. Αυτό συμβαίνει ,μεταξύ άλλων, διότι οι μεταβολές των τιμών δεν είναι μονοσήμαντες και διαφορετικοί συσχετισμοί τιμών καυσίμων μεταβάλλουν την μορφή της καμπύλης προσφοράς με αναπάντεχους τρόπους. Στην ανάλυση ευαισθησίας του προηγούμενου τμήματος της εργασίας γίνεται αναλυτικότερη αναφορά.

Τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις που έχουν τόσο η άμεση όσο και η έμμεση επίδραση της διείσδυσης αιολικής ενέργειας θα τις αναλύσουμε σε επόμενο κομμάτι της εργασίας. Στο σημείο αυτό πρέπει απλώς να επισημαίνουμε ότι λόγω αυτών των επιπτώσεων που είδαμε παραπάνω επιτελούνται μεταβολές στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες με την σειρά τους επαναπροσδιορίζουν το μέγεθος των άμεσων και έμμεσων επιδράσεων.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Κεφάλαιο 6^ο: Αρνητικές Τιμές Ηλεκτρικής Ενέργειας

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

6.1 Απλοποιημένη Προσέγγιση

Οι αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ένα φαινόμενο που σε πρώτη ανάγνωση φαίνεται εντελώς παράδοξο. Ωστόσο, πιο προσεκτική μελέτη του φαινομένου αναδεικνύει όχι μόνο λογικές αιτίες αλλά και σημαντικά συμπεράσματα για την δομή ενός ηλεκτρικού συστήματος μέσα στο οποίο προκύπτουν. Είναι ένα φαινόμενο το οποίο πηγάζει από το Merit Order Effect και συγκεκριμένα από τα προηγούμενα δυο κομμάτια της ανάλυσης δηλαδή την άμεση και την έμμεση επίδραση που έχει η αιολική διείσδυση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί μια ακραία έκφραση των επιδράσεων αυτών που όμως δημιουργεί προβληματισμούς για την λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ισορροπεί σε μια αρνητική οριακή τιμή του συστήματος αυτό σημαίνει ότι οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας ουσιαστικά πληρώνουν τους αγοραστές για να αγοράσουν την ενέργεια που παράγουν.

Αυτό συνέβει πρώτη φορά τον Οκτώβριο του 2008 στη Γερμανία όταν το European Exchange στο Leipzig επέτρεψε πρώτη φορά να κλείσει το χρηματιστήριο σε αρνητική τιμή εκκαθάρισης της αγοράς. Οι λόγοι πίσω από την απόφαση αυτή θα γίνουν κατανοητοί παρακάτω. Το συμβάν αυτό ακολούθησαν και αλλά περιστατικά με την αγορά να κλείνει σε αρνητικές οριακές τιμές. Μεχρι τον Δεκέμβριο του 2009, 86h είχαν τιμές με αρνητικό πρόσημο και 19h είχαν αρκετά αρνητικές τιμές χαμηλότερες από -100 Euro/MWh. Κατόπιν, υπήρχαν και άλλα αντίστοιχα περιστατικά μεχρι που έγινε αναθεώρηση του EEG στις 22 Φεβρουάριου του 2010 με αποτέλεσμα να περιοριστεί το φαινόμενο επιφανειακά δίχως να αντιμετωπιστούν οι αιτίες του από την ρίζα τους.

Όπως είδαμε στην ανάλυση της άμεσης επίδρασης που έχει η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όταν ένας όγκος αιολικής ενέργειας ενσωματώνεται στην βάση της καμπύλης προσφοράς μετακινεί την καμπύλη προσφοράς προς τα δεξιά με αποτέλεσμα να τέμνεται με την καμπύλη ζήτησης σε χαμηλότερο σημείο και να προκύπτει χαμηλότερη οριακή τιμή του συστήματος (Merit Order Effect). Υπάρχουν περιπτώσεις που η συνολική ζήτηση είναι αρκετά χαμηλή, παραδείγματος χάρη σε ωρες που δεν υπάρχουν μεγάλες καταναλώσεις όπως 4 π.μ. την Κυριακή, και το σημείο τομής της καμπύλης ζήτησης με την καμπύλη προσφοράς είναι ήδη αρκετά χαμηλά και ορίζεται από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας χαμηλού οριακού κόστους, γνωστά και ως εργοστάσια βάσης διότι παράγουν το βασικό ποσοστό φορτίου σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια των 8760 ωρων του χρόνου. Εάν σε κάποιες από αυτές τις περιπτώσεις προκύψει έντονη αιολική παραγωγή λόγω αυξημένης έντασης του ανέμου τότε η οριακή τιμή του συστήματος «σπρώχνεται» ακόμα περισσότερο προς τα κάτω. Επομένως, εφόσον όσο γνωστόν η παραγωγή σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πάντα ισούτε με τη ζήτηση και δεν υπάρχουν αποδοτικοί τρόποι αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ποσότητες, πλέον μεχρι και τα εργοστάσια βάσης που εξακολουθούν ακόμα σε σημαντικό ποσοστό να είναι πυρηνικής τεχνολογίας, εκτοπίζονται από την αγορά.

Όμως τέτοια μεγάλα εργοστάσια αντιμετωπίζουν μεγάλα κόστη όταν αναγκάζονται να μεταβάλλουν την κατάσταση λειτουργίας τους οπότε «προτιμούν» να παραμείνουν ανοικτά προσφέροντας σε αρνητικές τιμές ώστε να πάρουν καλύτερη (ακόμα χαμηλότερη) θέση στην καμπύλη προσφοράς και να συμπεριληφθούν στο μείγμα παραγωγών που τελικά θα παράγουν, εκτοπίζοντας άλλους παραγωγούς που δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα με την παύση της λειτουργίας τους, εφόσον η τιμή είναι κάτω από τα μεταβλητά τους κόστη. Είναι προφανές ότι τότε η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει φτάσει σε ασφυκτικά σημεία με τα περιθώρια ευελιξίας να είναι εξαιρετικά περιορισμένα. Τέτοιες καταστάσεις είναι γνωστές με τον ορο *tight market situations* και οδηγούν την αγορά στις αρνητικές τιμές του συστήματος. Αυτή είναι μια πρώτη απλοποιημένη προσέγγιση του φαινομένου.

6.2 Ελαστικότητα της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ελαστικότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στην αμεσότητα και την αποδοτικότητα με την οποία ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλύψει τις μεταβολές και τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Η ελαστικότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται από το μείγμα των εργοστασίων που είναι εγκατεστημένα στο ηλεκτρικό σύστημα και συμμετέχει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (*power plants portfolio*) και από την αλληλεπίδραση της εν λόγω αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με άλλες γειτονικές αγορές. Ειδικότερα, οι *Battle και Perez-Arriaga (2008)* και ο *Roques (2008)* παρουσιάζουν αναλυτικότερα τη συζήτηση για την επάρκεια ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αγορά εξισορρόπησης ή *reserve market* όπως είναι ευρέως γνωστή είναι, όπως είδαμε και αναλυτικότερα παραπάνω, υπεύθυνη για την ασφάλεια του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Η αγορά εξισορρόπησης επίσης επηρεάζει την ελαστικότητα του συστήματος διότι απαιτεί επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ σε διαθεσιμότητα. Η ελαστικότητα του συστήματος γίνεται ακανθώδες ζήτημα σε περιπτώσεις με πολύ αυξημένη ή πολύ μειωμένη ζήτηση. Και στις δυο περιπτώσεις, συμπεριφορά τις αγορές αποκλίνει από τα καθιερωμένα μοντέλα (*Cramton 2004 και Ockenfels et al.2008*).

Σε ωρες με πολύ υψηλή ζήτηση, η αγορά παρουσιάζει τιμές παραπάνω από τα μεταβλητά κόστη, ενώ σε ωρες με πολύ χαμηλή ζήτηση, η αγορά ισορροπεί σε οριακές τιμές χαμηλότερες από τα μεταβλητά κόστη των παραγωγών. Στη παρούσα εργασία θα αναλύσουμε τις περιπτώσεις χαμηλής ζήτησης και πως σχετίζονται με την διείσδυση της ατομικής ενέργειας στην δημιουργία ακραίων καταστάσεων όπως είναι οι αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, δεν θα μας απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό η ελαστικότητα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι περιορισμοί που δημιουργούνται καθώς το παράδειγμα μελέτης μας που είναι η Γερμανία δεν λαμβάνει τις διάφορες συμφορήσεις που ενδεχομένως δημιουργούνται σε σημεία του δικτύου (bottlenecks) στον καθορισμό της τιμής, σε αντίθεση με άλλες χώρες, όπως η Αγγλία. Στη Γερμανία ο διαχειριστής του συστήματος ανακαταλείπει την παραγωγή στις δυο πλευρές του σημείου συμφόρησης του δικτύου μετά από την εξισορρόπηση της αγοράς. Δεν λαμβάνεται η συμφόρηση υπ' όψη κατά τη διάρκεια των προσφορών. Ωστόσο, θα επεξεργαστούμε και αυτή την παράμετρο στον τρόπο που επηρεάζει ποιοτικά τις καταστάσεις που δημιουργούνται.

6.2.1 Ελαστικότητα της Πλευράς Ζήτησης

Η ζήτηση, όπως είδαμε και σε προηγούμενο σημείο, είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη αλλά παράλληλα πολύ ανελαστική. Αυτό σημαίνει ότι παρότι διαρκώς αλλάζει επίπεδα είναι πολύ δύσκολο να επηρεάσουμε την μεταβολή αυτή. Στις διαφορετικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας αντιστοιχούν διαφορετικές καμπύλες φορτίου τόσο ημερήσιες, εβδομαδιαίες αλλά και ετήσιες. Όμως σε κάθε αγορά, οι καμπύλες αυτές ακολουθούν κάποιες γενικές κατευθύνσεις. Ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας για την περιγραφή της ζήτησης σε μια αγορά είναι το φορτίο βάσης (base load). Το φορτίο βάσης είναι το επίπεδο της ζήτησης το οποίο είναι δεδομένο και ανεξάρτητο από τις διάφορες μεταβολές. Είναι ένα επίπεδο κάτω από το οποίο δεν βρίσκεται η ζήτηση πολλές ωρες μέσα στον χρόνο. Το φορτίο βάσης το καλύπτουν οι μονάδες βάσης οι οποίες λειτουργούν ολο τον χρόνο. Όσο υψηλότερο είναι το φορτίο βάσης τόσο μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας παραγωγής απασχολείται για την κάλυψη του επομένως τόσο μεγαλύτερη ελαστικότητα απαιτείται από την υπόλοιπη εγκατεστημένη ισχύ ώστε να καλύπτει την υπολογιζόμενη ζήτηση που προκύπτει από την αφαίρεση του φορτίου βάσης από την συνολική ζήτηση.

6.2.2 Ελαστικότητα της Πλευράς Προσφοράς

Η ελαστικότητα της πλευράς προσφοράς εξαρτάται από το μείγμα της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος και από τον σχεδιασμό των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών αγορών. Όταν μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει μια πύλα με παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας (power plants portfolio) στην οποία υπάρχει μεγάλο ποσοστό μονάδων βάσης τότε έχει αρκετά μειωμένη ελαστικότητα όσον αφορά την πλευρά της προσφοράς. Αυτό συμβαίνει διότι οι παραγωγικές μονάδες βάσης έχουν πολύ χαμηλή ελαστικότητα. Οι μονάδες βάσης

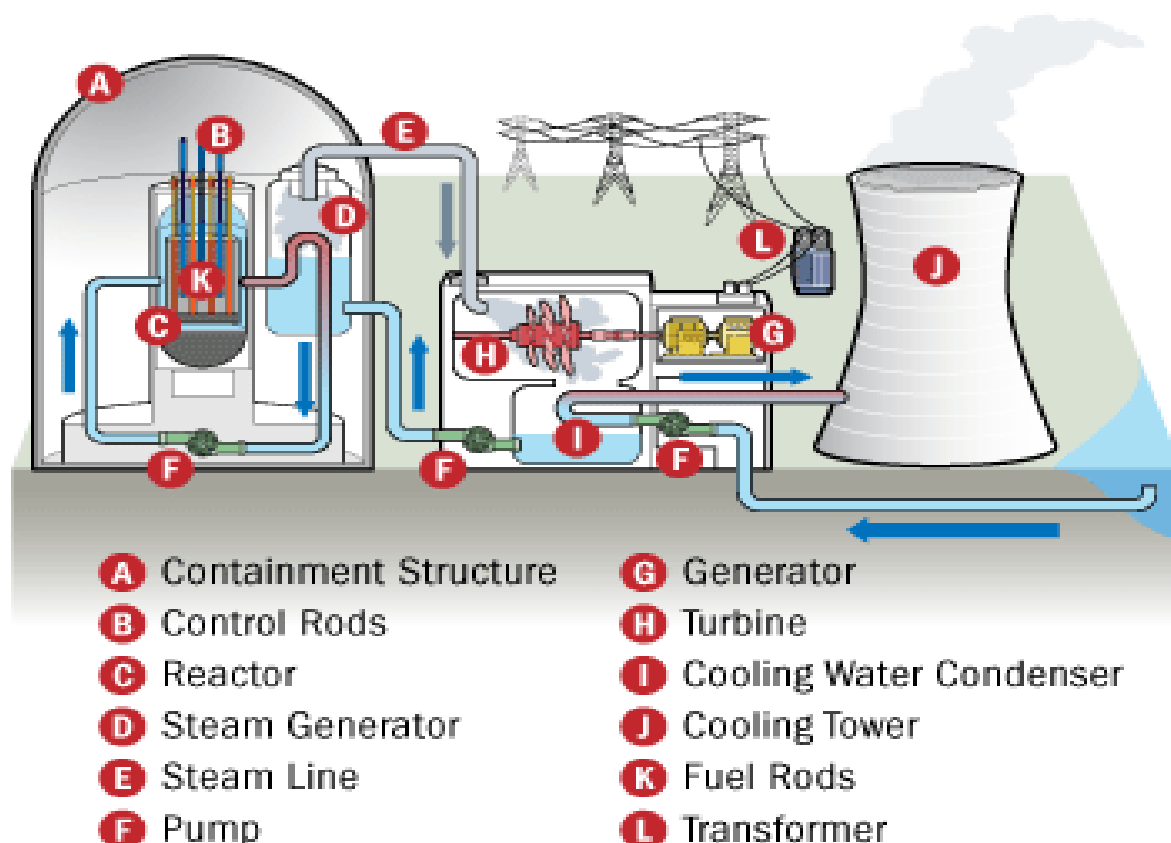
Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

έχουν πολύ αυξημένα επενδυτικά κόστη και πολύ χαμηλά μεταβλητά (οριακά) κόστη. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται πολύ υψηλό βαθμό χρησιμοποίησης κατά την διάρκεια του έτους, δηλαδή να λειτουργούν και να παράγουν όσο το δυνατόν περισσότερο κατά τη διάρκεια του έτους ώστε να αποσβέσουν τα τεράστια επενδυτικά κόστη που τις χαρακτηρίζουν.

Επομένως, στα εργοστάσια αυτά δημιουργείται πρόβλημα όταν πρέπει να μειώσουν την παραγωγή τους γιατί έτσι μειώνουν τους συντελεστές χρησιμοποίησης τους. Η δυσκολία που εμφανίζουν λοιπόν στη μείωση της παραγωγής τους δείχνει σε πρώτη φάση τη χαμηλή ελαστικότητα. Δεύτερον, πέραν από τα χρηματικά αντικίνητρα που υπάρχουν όσο αφορά την μείωση της παραγωγής των μονάδων βάσης, υπάρχουν και τεχνικά ζητήματα τα οποία δεν επιτρέπουν στα εργοστάσια βάσης χαμηλού μεταβλητού κόστους να μειώσουν την ισχύ εξόδου τους σε επίπεδο χαμηλότερο από ένα ποσοστό της ονομαστικής ισχυρός εξόδου. Τα σχήματα 30, 31 αναφέρονται στον τεχνικό μηχανισμό λειτουργίας διάφορων τύπων εργοστασίων βάσης.

Inside a Nuclear Power Plant

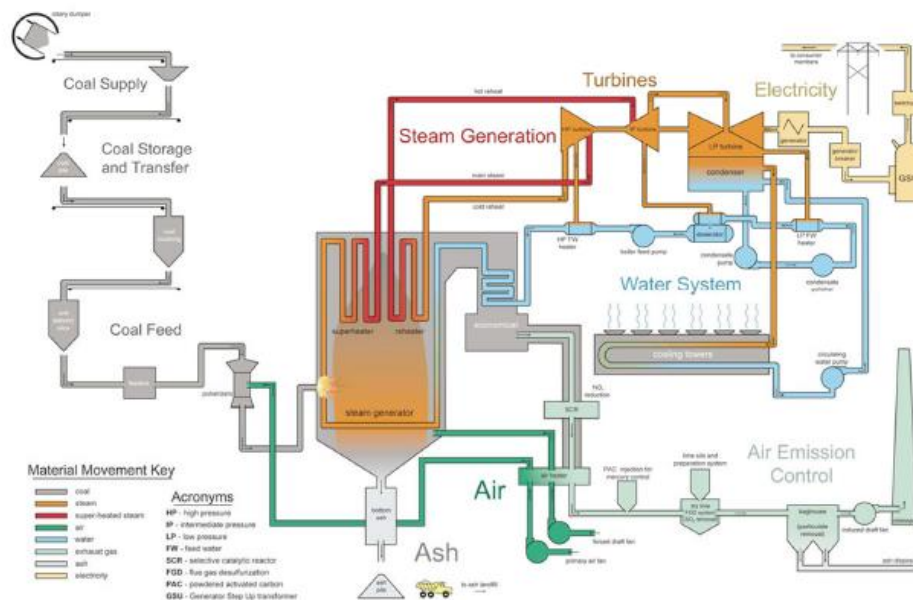
©2011 HowStuffWorks



Σχ.30 : Λειτουργία πυρηνικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Lignite Power Plant

Very complex processes with low dynamics



Source: <http://www.holcombstation.com/technology/power-plant-major-components/>

Σχ.31 : Λειτουργία λιγνιτικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Εάν χρειάζεται περαιτέρω μείωση κάτω από αυτό το κατώφλι τότε θα πρέπει να παύσουν την λειτουργία τους. Αυτό ο κβαντισμένος μηχανισμός λειτουργίας μειώνει αισθητά την ευελιξία και την ελαστικότητα των εργοστασίων αυτών. Όμως παράλληλα τα εργοστάσια βάσης δεν είναι σχεδιασμένα για να ξεκινούν και να σταματούν την λειτουργία τους συχνά γιατί αυτό μειώνει τη περίοδο ζωής των εξαρτημάτων και των μηχανισμών που εκτίθενται σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις. Η μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής του εργοστασίου βάση σημαίνει κόστος και συγκεκριμένα μεγάλο λόγω της συνολικής αξία της επένδυσης καθώς η υπολειπόμενη αξία του εργοστασίου μειώνεται.

Επιπλέον, κάθε επανεκκίνηση ενός εργοστασίου βάσης συνεπάγεται μεγάλα κόστη. Ο Hofer (2008) υπολόγισε ότι η κάθε εκκίνηση ενός εργοστασίου συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου κοστίζει από 2500 έως 5000 Euro ποσό μάλλον περισσότερα είναι τα κόστη για πυρηνικά ή μεγάλα λιγνιτικά εργοστάσια.

Τέλος, πέραν του πραγματικού σταθερού κόστους που αντιμετωπίζει ένα εργοστάσιο βάσης κάθε φορά που παύει και επανεκκινεί την λειτουργία του υπάρχει και το κόστος ευκαιρίας. Η διαδικασία για κλείσιμο και επανεκκίνηση ενός εργοστασίου βάση είναι αρκετά χρονοβόρα. Όταν χρειάστηκε να κλείσει ένα τέτοιο εργοστάσιο μπορεί η ζήτηση να είναι πολύ χαμηλή όμως στο μεσοδιάστημα μεταξύ της παύσης και της επανεκκίνησης

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

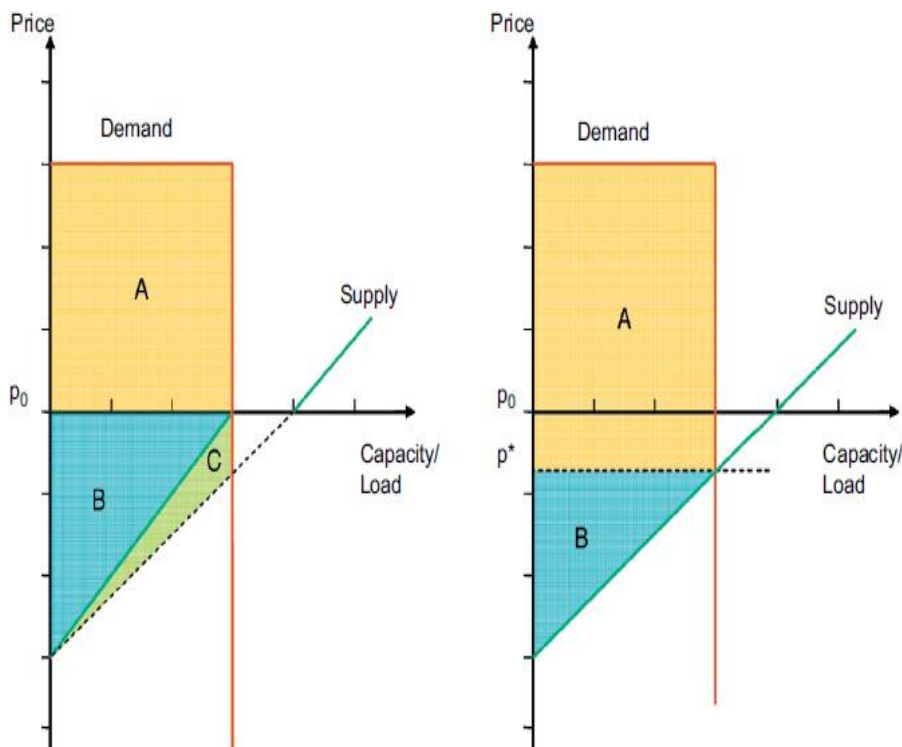
μπορεί η ζήτηση να έχει επανέλθει σε υψηλότερα επίπεδα στα οποία το εργοστάσιο θα καρποφορούσε εάν ήταν ανοικτό και διαθέσιμο. Όμως δεν είναι, επομένως τα εν δυνάμει έσοδα που θα κέρδιζε εάν ήταν ανοικτό μεταφράζονται στους παραγωγούς ως κόστος ευκαιρίας με το κλείσιμο του εργοστασίου. Φαίνεται λοιπόν πως όσον αφορά τα εργοστάσια βάσης, η δυνατότητα και η θέληση να ανταπεξέλθουν στις διάφορες μεταβολές της ζήτησης είναι πολύ χαμηλή χαρακτηρίζονται τα ως πολύ ανελαστικά. Έτσι μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από τέτοιου τύπου εργοστάσια είναι επίσης ανελαστική.

6.3 Διαμόρφωση Αρνητικών Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας

6.3.1 Ενεργειακό Μείγμα Συμβατικών Παραγωγών

Όταν λοιπόν η τιμή της αιολικής ενέργειας που διεισδύει μέσα στο σύστημα είναι υψηλή και η συνολική ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλή, η υπολογιζόμενη ζήτηση που θα πρέπει να καλύψουν οι μονάδες βάσης είναι πολύ χαμηλότερη από τα συνηθισμένα επίπεδα και κάτω από το φορτίο βάσης, επομένως κάποιος θα πρέπει αναγκαστικά να τερματίσουν την λειτουργία τους ώστε να μειωθεί η συνολική ισχύς εξόδου που πρέπει πάντα να είναι ίση με τη ζήτηση, διότι όπως είδαμε δεν είναι δυνατόν να μειώσουν απλώς την παραγωγή τους. Όταν μονάδες βάσης πρέπει να παύσουν την λειτουργία τους όπως είπαμε η κατάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει σε οριακά επίπεδα ανελαστικότητας. Τότε οι παραγωγοί σταθμίζουν τα συνολικά κόστη που προκύπτουν από την παύση της λειτουργίας τους που συνοπτικά είναι το κόστος μείωσης του χρόνου ζωής επένδυσης, το σταθερό κόστος επανεκκίνησης αλλά και το κόστος ευκαιρίας λόγω των εν δυνάμει μη πραγματοποιηθέντων εσόδων κατά το διάστημα από το κλείσιμο μέχρι την επανεκκίνηση. Έτσι προσφέρουν σε μια αρνητική τιμή, η οποία είναι μικρότερη από αυτά τα κόστη συνολικά κερδίζοντας ουσιαστικά από την μείωση της ζημίας. Σε μια τέτοια περίπτωση η καμπύλη προσφοράς δεν ξεκινάει από το μηδέν αλλά περνάει σε στην αρνητική περιοχή όπως φαίνεται στο σχήμα (Σχ.32).

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ. 32 : Αρνητική τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι αρνητικές τιμές επετράπησαν ως μηχανισμός από τους λειτουργούς του χρηματιστηρίου διότι οδηγούν στην αύξηση του συνολικού κοινωνικού πλεονάσματος. Μέσω των αρνητικών τιμών επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή της υπάρχουσα ζήτησης στο διαθέσιμο παραγωγικό δυναμικό. Αυτό συμβαίνει διότι αφενός δεν αντιμετωπίζουν ολοι οι τύποι παραγωγών τα ίδια κόστη εκκίνησης και την ίδια φθορά στην αξία των μηχανήματων με κάθε επανεκκίνηση, αφετέρου δεν διαρκεί για κάθε τύπο παραγωγού τον ίδιο χρόνο η κάθε διαδικασία ώστε να υπάρχει το ίδιο αυξημένο κόστος ευκαιρίας.

Άρα εάν δεν υπήρχε η δυνατότητα για αρνητικές τιμές το συνολικό κόστος ένα θεωρήσουμε όλους τους παραγωγούς ως ομάδα θα ήταν σίγουρα μεγαλύτερο. Θεωρητικά είναι αντιστοίχως μηχανισμός με το σύστημα EU-ETS που επίσης ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος για να βελτιστοποιηθεί το συνολικό όφελος. Ωστόσο, η ύπαρξη αρνητικών τιμών διαφοροποιεί την ποσοστιαία κατανομή του συνολικού κοινωνικού πλεονάσματος μεταξύ του πλεονάσματος του παραγωγού και του πλεονάσματος του καταναλωτή. Όσον αφορά τις απόλυτες τιμές του μεγέθους κάθε πλεονάσματος είναι προφανές ότι το εμβαδόν A που αντιστοιχεί στο πλεόνασμα του καταναλωτή αυξάνεται. Παράλληλα, ενώ το πλεόνασμα του παραγωγού B φαίνεται να μειώνεται στο σχήμα, αυτό συμβαίνει διότι το σχήμα αποτελεί μια στατική απεικόνιση μια δεδομένης κατάστασης. Στο σχήμα δεν μπορούν να απεικονιστούν τα μελλοντικά έσοδα που θα προκύψουν λόγω της διαθεσιμότητας των παραγωγών να παράγουν αμέσως μόλις ανακάμψει η ζήτηση και επομένως οι τιμές της αγοράς. Ούτε μπορούν να απεικονιστούν οι αποφευχθέντα κόστη λόγω κλεισίματος που

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αναφέραμε παραπάνω. Μπορεί να απεικονιστεί μόνο το επιπλέον κόστος λόγω των πληρωμών των αρνητικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι μολονότι οι αρνητικές τιμές είναι θεμιτές ως εργαλείο για την αντιμετώπιση μια τέτοιας ασφυκτικής κατάστασης που προκύπτει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η κατάσταση αυτή καθαυτή είναι προβληματική και χρίζει έντονης προσοχής. Είναι επικίνδυνο για την αξιοπιστία του συστήματος να φτάνει σε τέτοια οριακά σημεία ανελαστικότητας.

Συνεπώς είναι σημαντικό να δούμε και άλλες παραμέτρους εκτός από το ενεργειακό portfolio μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που επηρεάζουν την ελαστικότητα του συστήματος.

6.3.2 Αγορά Εφεδρείας Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αρχικά, ο σχεδιασμός του συστήματος είναι κρίσιμος και από μια ακόμα οπτική. Το ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος που διατηρείται σε επιφυλακή (reserve market) ώστε να διαφυλαχτεί η ασφάλεια του συστήματος περιορίζει ακόμα περισσότερο την ελαστικότητα του συστήματος. Όσο πιο αυξημένη είναι η απαιτούμενη εφεδρεία τόσο μειώνεται η ελαστικότητα του συστήματος. Η εφεδρεία όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο σημείο της εργασίας αναλύεται σε πρωτεύουσα, δευτερεύουσα και τριτεύουσα. Η πρωτεύουσα και η δευτερεύουσα εφεδρεία είναι στρεφόμενες εφεδρείες δηλαδή τα εργοστάσια που είναι διασυνδεδεμένα και παράγουν είναι σε επιφυλακή ώστε εάν χρειαστεί αμέσως να μεταβάλλουν την παραγωγή τους, είτε να την αυξήσουν είτε να τη μειώσουν.

Στη περίπτωση που μας απασχολεί υπάρχει αρνητική ελαστικότητα και δημιουργείται μια «σφιχτή» κατάσταση (tight market situation) όπου δηλαδή δεν υπάρχουν πολλές ευκαιρίες και δυνατότητες για να μειωθεί η παραγωγή όταν η ζήτηση βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Οπότε έστω ότι ένα εργοστάσιο βάσης που έχει τεχνικό ελάχιστο 80% της ονομαστικής του ισχύος συμμετέχει στην στρεφόμενη εφεδρεία. Για την στρεφόμενη εφεδρεία έστω ότι διατηρεί ένα ποσοστό +/- 10 % της ονομαστικής του ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε περίπτωση η ισχύς εξόδου μπορεί να περικοπεί έως και 90% της ονομαστικής και όχι παρακάτω διότι το υπόλοιπο 10 % διατηρείται για λόγους ασφαλείας σε επιφυλακή για την περίπτωση που για κάποιο λόγο υπάρχει απότομη ανύψωση της τάσης, όπως για παράδειγμα κάποια βλάβη (πχ βραχυκύκλωμα) στο δίκτυο με αποτέλεσμα να «βγει» εκτός δικτύου ένα τμήμα των καταναλωτών. Φαίνεται λοιπόν, ότι όσο πιο αυξημένη είναι η απαιτούμενη εφεδρεία τόσο πιο ανελαστική γίνεται η κατάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα, ο τρόπος δημοπράτησης της απαιτούμενης εφεδρείας είναι σημαντική παράμετρος για την ελαστικότητα του συστήματος.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στη Γερμανία, ενώ η τριτεύουσα μη στρεφόμενη εφεδρεία δημοπρατείται κάθε εργάσιμη μέρα, η πρωτεύουσα και η δευτερεύουσα εφεδρεία δημοπρατούνται μηνιαίως, ανεξάρτητα από την ημερήσια αγορά. Η χρονική απόσταση αυτή είναι πολύ σημαντική διότι σε ένα τέτοιο διάστημα μεγάλες μεταβολές μπορεί να δημιουργηθούν. Ο ορίζοντας πρόβλεψης είναι πολύ μεγάλος και έτσι δημιουργούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των προβλέψεων και της τελικής κατάστασης της αγοράς ενέργειας που μπορεί να προκύψει. Έτσι, μπορεί όταν επιτελείται η δημοπρασία για την πρωτεύουσα και δευτερεύουσα εφεδρεία, η ζήτηση να έχει προβλεφθεί να είναι σε ένα επίπεδο διαφορετικό από ότι τελικά προκύπτει σε πραγματικό χρόνο. Όταν η προβλεπόμενη ζήτηση είναι υψηλή είναι υψηλή και η απαιτούμενη εφεδρεία. Εάν τελικά όμως η ζήτηση είναι χαμηλότερη από την προβλεπόμενη στον πραγματικό χρόνο και η δεσμευμένη ποσότητα για πρωτεύουσα και δευτερεύουσα εφεδρεία είναι δεδομένη, τότε η ελαστικότητα του συστήματος είναι εξαιρετικά μειωμένη, για τους λόγους που περιγράφουμε παραπάνω. Άρα, όσο πιο κοντινή σχέση έχει η δημοπράτηση της απαιτούμενη εφεδρείας και η δημοπράτηση της για τον καθορισμό της τιμής κάθε ωρα του συστήματος τόσο πιο αποδοτική θα είναι η κατανομή της συνολικής εγκατεστημένης ισχυρός για κάθε ανάγκη του συστήματος.

Τα αποτελέσματα της καθημερινή δημοπρασίας για την τριτεύουσα εφεδρεία είναι πολύ καλοί δείκτες της ελαστικότητας της αγοράς. Όταν οι τιμές που προκύπτουν για την τριτεύουσα εφεδρεία είναι υψηλές σημαίνει ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από χαμηλό βαθμό ελαστικότητας. Η τριτεύουσα εφεδρεία είναι μη στρεφόμενη. Αυτό σημαίνει ότι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συμμετέχουν στην τριτεύουσα εφεδρεία δεν είναι σε λειτουργία αλλά βρίσκονται σε επιφυλακή ώστε να αρχίσουν την λειτουργία τους μέσα σε 15 λεπτά από την στιγμή που θα κληθούν να παράγουν. Οι παραγωγοί που βρίσκονται σε τριτεύουσα εφεδρεία πληρώνονται για την υπηρεσία που παρέχουν διότι εναλλακτικά θα μπορούσαν να συμμετέχουν και εκείνοι στην καμπύλη προσφοράς ώστε να παράγουν εκείνη την ώρα που τελικά θα παρέχουν την εφεδρεία. Όμως, σε περιπτώσεις που η κατάσταση είναι ασφυκτική και η αγορά πολύ ανελαστική υπάρχει ένα πολύ πιθανο ενδεχόμενο να συμμετέχουν στην δημοπρασία της ημερήσιας χρηματιστηριακής αγοράς και τελικά να μη επιλεγούν λόγω της χαμηλής υπολειπομένης ζήτησης που χαρακτηρίζει τέτοιες ανελαστικές καταστάσεις. Σε μια τέτοια περίπτωση θα βρεθούν δίχως να παράγουν αλλά και δίχως να πληρώνονται γι' αυτό σε αντίθεση με το εάν βρίσκονταν σε τριτεύουσα εφεδρεία.

Έτσι, η ζήτηση, σε τέτοιες ανελαστικές καταστάσεις της αγοράς, για τις θέσεις της τριτεύουσας εφεδρείας είναι αυξημένη άρα και οι τιμές για τις θέσεις εφεδρείας που προκύπτουν από τις δημοπρασίες τότε είναι αντίστοιχα αυξημένες. Και οι θέσεις πρωτεύουσας και δευτερεύουσας εφεδρείας είναι περιζήτητες και κερδοφόρες γιατί, όπως είπαμε, όταν οι παραγωγοί βρίσκονται σε τέτοιου τύπου εφεδρείας δεν μπορεί να τους ζητηθεί να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από κάποιο ποσοστό, ενώ παράλληλα πληρώνονται για την διαθεσιμότητα κάποιου ποσοστού της ονομαστικής ισχύς που παρέχουν. Εάν δεν βρίσκονταν σε καθεστώς εφεδρείας ούτως ή άλλως θα χρειαζόνταν να μειώσουν την παραγωγή τους κατά το ίδιο ποσοστό κατ'ανάγκη δίχως φυσικά να

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

πληρωθούν γι' αυτό. Όμως, λόγω της χρονικής απόστασης μεταξύ της δημοπράτησης της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας εφεδρείας και της ημερήσιας αγοράς, τα σήματα τιμών που προκύπτουν από την δημοπράτηση των εφεδρειών δεν αντικατοπτρίζουν τον πραγματικό βαθμό ελαστικότητας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά τον αναμενόμενο.

6.3.3 Δυνατότητες Διασυνδέσεων μεταξύ των Χωρών

Πέραν από τον σχεδιασμό του συστήματος όσον αφορά τις μορφές και τον όγκο εφεδρείας, μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι και οι δυνατότητες διασυνδέσεων με τις γειτονικές αγορές. Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κομμάτι της εργασίας, για να χρησιμοποιηθεί η δυναμικότητα των διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών πρέπει να αγοραστούν τα δικαιώματα χρήσης. Η αγορά των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών γίνεται είτε μέσω άμεσων είτε μέσω έμμεσων δημοπρασιών. Η διαφορά μεταξύ των δυο τύπων δημοπράτησης των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων έγκειται στην αλληλεπίδραση με την ημερήσια δημοπρασία στο χρηματιστήριο ενέργειας. Όταν η χρησιμοποιείται ως μέθοδος η άμεση δημοπρασία τότε η αγορά των δικαιωμάτων γίνεται ανεξάρτητα από την ημερήσια δημοπρασία ενέργειας. Έτσι ενδεχομένως να προκύψουν οριακές τιμές στα χρηματιστήρια των διασυνδεδεμένων χωρών που να μην συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα της άμεσης δημοπράτησης των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων. Αυτό συμβαίνει διότι ο χρονισμός μεταξύ των δυο διαδικασιών δεν είναι δεδομένος οπότε η χρήση και η ροή ενέργειας μέσω των διασυνδέσεων να μην συμβαδίζει με τα σήματα τιμών που προκύπτουν από το χρηματιστήριο ενέργειας. Έτσι δεν επιτυγχάνεται βέλτιστα η σύγκλιση τιμών των διασυνδεδεμένων αγορών.

Για παράδειγμα έστω ότι η χώρα Α είναι διασυνδεδεμένη με την χώρα Β. Γίνεται η άμεση δημοπρασία για τη χρήση των διασυνδέσεων μεταξύ των δυο χωρών και προκύπτει ότι έχουν αγοραστεί οι διασυνδέσεις για ροή ενέργεια μεγέθους X από την χώρα Α στην χώρα Β. Όμως παράλληλα για το ίδιο διάστημα που έχουν ενοικιαστεί τα δικαιώματα χρήσης των διασυνδέσεων η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας Α ισορροπεί σε μια υψηλή οριακή τιμή της αγοράς διότι έτυχε να έχει πολύ ζέστη και να χρειάζονται πολλά κλιματιστικά και άρα η ζήτηση ήταν υψηλή ενώ παράλληλα η ένταση του ανέμου ήταν πολύ χαμηλή με αποτέλεσμα να ενσωματώνεται μικρός όγκος αιολικής ενέργειας στην αγορά. Αντίθετα, έστω ότι στη χώρα Β η αγορά ισορροπεί σε χαμηλή οριακή τιμή του συστήματος με αποτέλεσμα να υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας και η αγορά να εμφανίζει αρνητική ελαστικότητα. Τα σήματα τιμών που προκύπτουν μεταξύ των δυο αγορών ορίζουν ότι η ροή ενέργειας θα πρέπει να είναι από την χώρα Β όπου υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας στην χώρα Α όπου υπάρχει έλλειμα ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση των τιμών και να αυξηθεί το συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα των δυο χωρών. Ωστόσο, επειδή η δημοπράτηση των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων μεταξύ των δυο χωρών έγινε δίχως να λάβει

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

υπόψη την ανάγκη για γεφύρωση του χάσματος τιμών σε εκείνη την ώρα δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση.

Έτσι, οι αγορές πλέον χρησιμοποιούν τις έμμεσες δημοπρασίες για την αγορά των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων που διενεργούνται παράλληλα ή ακόμα και συμπεριλαμβάνονται στην δημοπρασία για την καθορισμό της τιμής εκκαθάρισης ηλεκτρικής ενέργειας των επιμέρους αγορών. Επίσης, πολύ σημαντική παράμετρος είναι και η δυναμικότητα των διασυνδέσεων. Οσο πιο αυξημένη είναι η μέγιστη ισχύς μεταφοράς των διασυνδέσεων τόσο πιο κοντινά διασυνδεδεμένες είναι δυο αγορές. Για την αγορά της Γερμανίας υπάρχουν διασυνδέσεις με τις περισσότερες γειτονικές χώρες (Δανία, Σουηδία, Πολωνία, Τσεχία, Αυστρία, Ελβετία, Λουξεμβούργο, Γαλλία και Ολλανδία) με συνολική ισχύ διασύνδεσης 17GW για τις εισαγωγές και 14.8 GW για τις εξαγωγές.

Ο τρόπος με τον οποίο η αιολική ενέργεια επηρεάζει τόσο την απαραίτητη εφεδρεία όσο και τις διασυνδέσεις του συστήματος είναι καθοριστικός για την ελαστικότητα του συστήματος. Η αιολική ενέργεια είναι ευρέως γνωστό ότι αποτελεί μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας, της οποίας η συνολική ισχύς εξόδου δεν είναι δεδομένη. Η στοχαστικότητα που χαρακτηρίζει την αιολική ενέργεια αυξάνει το ποσοστό της αναγκαίας εφεδρείας επι της συνολικής ζήτησης μια αγοράς συνολικής ενέργειας. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερο το ποσοστό της συνολικής παραγωγής που προέρχεται από αιολική παραγωγή τόσο αυξάνεται το απαραίτητο ποσό εφεδρείας, ιδίως στρεφόμενης, που έχει ανάγκη το σύστημα για την ασφαλή λειτουργία του. Αυτό είναι απολύτως λογικό κάθε η κατανάλωση πρέπει να είναι πάντα σε ισορροπία με την παραγωγή οπότε ενδεχόμενες αυξομειώσεις της αιολικής παραγωγής πρέπει ακαριαία να αντισταθμίζονται από τους συμβατικού παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά τη σχέση της αιολικής ενέργειας με τις δυνατότητες διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών, φαίνεται πως αυξημένη ποσοστιαία διείσδυση της αιολικής παραγωγής έχει ως προαπαιτούμενα τις επαρκείς διασυνδέσεις μεταξύ των χωρών. Η ένταση του ανέμου δεν είναι ίδια σε όλες τις περιοχές επομένως όταν μια αγορά μπορεί να βρίσκεται σε αρκετά αρνητική ανελαστικότητα λόγω αυξημένης αιολικής παραγωγής, μια γειτονική μπορεί να βρίσκεται σε θετική ανελαστικότητα όπου η ζήτηση με δυσκολία μπορεί να ικανοποιηθεί, με την αιολική ενέργεια να κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μέσω, των διασυνδέσεων των χωρών όμως μπορεί να εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό η επίπτωση της στοχαστικότητας του αέρα στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

6.4 Μελέτη Περίπτωσης : Γερμανία

6.4.1 Ποσότητες Αρνητικής και Θετικής Εφεδρείας

Καταρχήν, προκειμένου να έχουμε μια καλύτερη εικόνα και αντίληψη των μεγεθών σε κάθε περίπτωση όπου η κατάσταση της αγοράς στη Γερμανία έφτασε σε οριακές καταστάσεις παρουσιάζοντας έντονη ανελαστικότητα, θα δούμε στον παρακάτω πίνακα 15 ,τα επίπεδα της πρωτεύουσας, δευτερεύουσας και τριτεύουσας εφεδρείας. Είναι πρόδηλη η σημασία αυτών των μεγεθών σύμφωνα με οσα αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Reserve power products		Minimum	Maximum
Primary	Negative/positive	656	664
Secondary	Negative	2064	2340
	Positive	2678	3013
Tertiary	Negative	1559	3238
	Positive	2285	3508
Total	Negative	4279	6242
	Positive	5619	7185

Πίνακας 15 : Δημοπρατημένες ποσότητες αρνητικών εφεδρειών 10/2008-12/2009

6.4.2 Διαθέσιμη Παραγωγική Ικανότητα Κάθε Πηγής

Κατόπιν στον πίνακα 16 τα μεγέθη των εγκατεστημένων ισχύων για κάθε τύπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δεδομένα αναφέρονται στην περίοδο που προέκυψαν οι περισσότερες από τις αρνητικές τιμές που αναλύονται.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

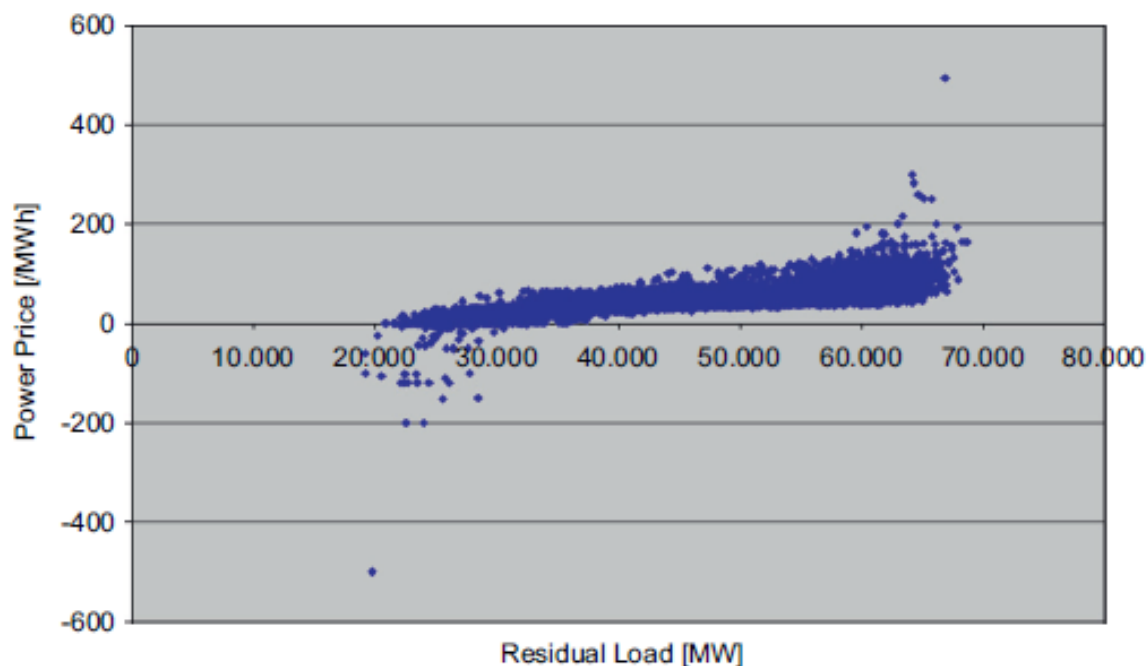
	Available capacity (MW)	
	Min.	Max.
Nuclear	10,914	18,266
Lignit	11,703	18,766
Hardcoal	8986	16,675
Natural Gas	6868	13,925
Oil	1159	2409
Hydro	3463	4574
Others	356	451
Wind	23,897	25,777
PV	5877	8877
Biomass	3973	4429

Πίνακας 16 : Διαθέσιμη εγκατεστημένη ισχύς για τις κυριότερες τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας στη Γερμανία

6.4.3 Πραγματικές Τιμές Χρηματιστηρίου για Διάστημα 10/2009 εως 11/2010

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.33) φαίνονται τα πραγματικά δεδομένα για τις οριακές τιμές του συστήματος στο διάστημα από τον Οκτώβριο του 2008 έως και τον Νοέμβριο του 2009. Οι τιμές του συστήματος προκύπτουν υπο το πρίσμα της πλευράς ζήτησης. Στον άξονα Y φαίνεται η οριακή τιμή του συστήματος ενώ στον άξονα X απεικονίζεται η υπολογιζόμενη ζήτηση για όλες εκείνες τις ώρες της αγοράς. Η υπολογιζόμενη ζήτηση είναι αυτή που προκύπτει εάν αφαιρεθεί από την συνολική ζήτηση το ποσό της ζήτησης που καλύπτεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και επομένως είναι το συνολικό ποσό της ζήτησης που καλύπτεται από τους συμβατικούς παραγωγούς. Το σχήμα που προκύπτει από όλες τις διαφορετικές τιμές στις οποίες ισορρόπησε το σύστημα είναι ουσιαστικά μια προσεγγιστική απεικόνιση της καμπύλης προσφοράς. Αυτό ισχύει διότι καθώς η υπολογιζόμενη ζήτηση αυξάνεται σειριακά από το ελάχιστο έως το μέγιστο φορτίο ουσιαστικά «σαρώνει» την καμπύλη προσφοράς, που δημιουργούν οι συμβατικοί παραγωγοί, την οποία τέμνει κάθε φορά καθορίζοντας την οριακή τιμή του συστήματος. Στο σχήμα φαίνεται ότι και στα δυο άκρα της καμπύλης προσφοράς υπάρχουν ασφυκτικές καταστάσεις. Στο κάτω μέρος έχουμε αρνητική ανελαστικότητα όπου υπάρχουν περιορισμένες ευκαιρίες για περαιτέρω μείωση της παραγωγής ενώ στο πάνω μέρος της καμπύλης προσφοράς έχουμε θετική ανελαστικότητα όπου υπάρχουν περιορισμένες παραγωγικές δυνατότητες για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης. Βλέπουμε πως και στις δυο περιπτώσεις η συμπεριφορά της αγοράς αποκλίνει από την κανονική. Στην περίπτωση της αρνητικής ελαστικότητας έχουμε αρνητικές τιμές ενώ στην περίπτωση της θετικής ελαστικότητας έχουμε ακραία υψηλές τιμές. Η δεύτερη περίπτωση είναι γνωστή με τον ορο scarcity mark-up.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.33 : Πραγματική καμπύλη προσφοράς του χρηματιστηρίου ενέργειας της Γερμανίας

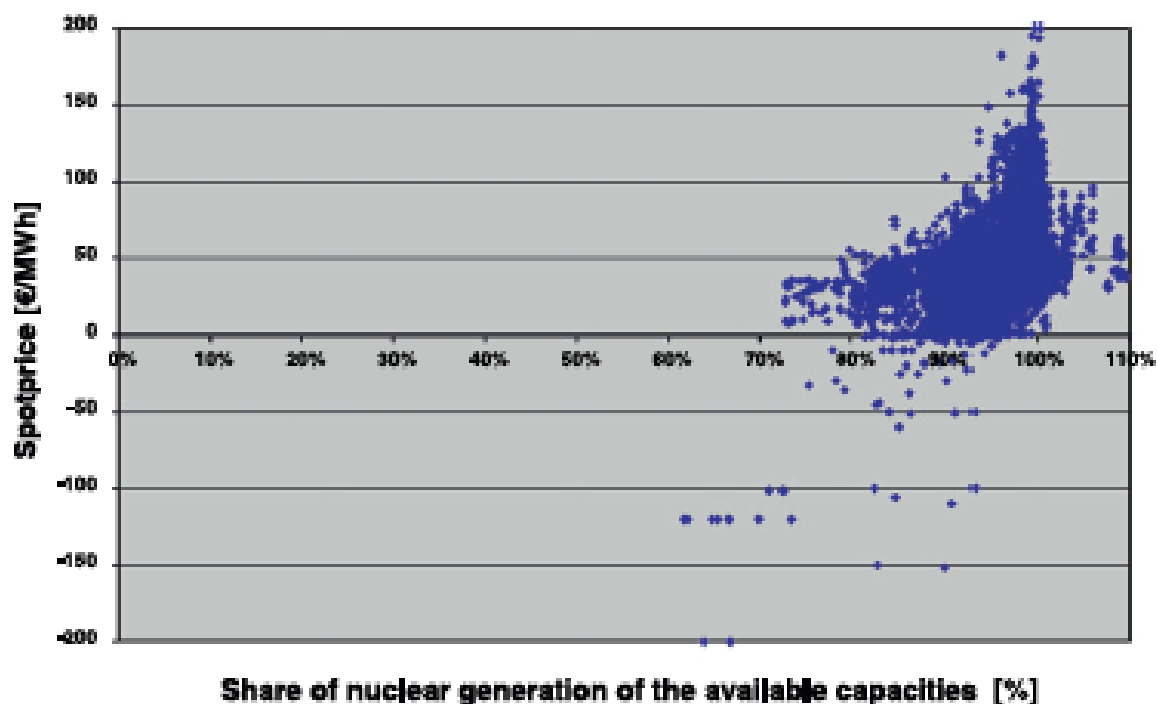
Η υπολογιζόμενη ζήτηση είναι χαμηλότερη από 30 GW σε όλες τις ώρες όπου υπάρχουν αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός όμως ότι δεν συμβαίνουν όλες οι αρνητικές τιμές κάθε φορά στο ίδιο ποσό υπολειπόμενης ζήτησης, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις η αγορά περνάει σε αρνητικές τιμές για υψηλότερη και άλλες για χαμηλότερη υπολογιζόμενη ζήτηση, οφείλεται στο ότι υπάρχει διαφορετικό μείγμα διαθέσιμων εργοστασίων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα εργοστάσια που είναι διασυνδεδεμένα στο σύστημα δεν είναι πάντα τα ίδια, αφού πολλές φορές ορισμένα χρειάζονται προγραμματισμένη συντήρηση ενώ συμβαίνουν και αναπάντεχες βλάβες που τα καθιστούν ανέκτα να συμμετέχουν στην καμπύλη προσφοράς αλλάζοντας έτσι τα επίπεδα ελαστικότητας του συστήματος. Όταν σημαντικό ποσοστό των μονάδων βάσης βρίσκεται σε συντήρηση, το υπολειπόμενο φορτίο μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερο μέχρι να φτάσουν οι τιμές σε αρνητικά επίπεδα. Αντίθετα, εάν όλα εργοστάσια βάσης ήταν διαθέσιμα η κατάσταση θα γίνονταν ασφυκτική πολύ νωρίτερα. Επίσης, παρατηρούμε ότι η καμπύλη προσφοράς έχει πάχος και δεν προκύπτουν ίδιες τιμές εκκαθάρισης του συστήματος για ίδιες τιμές υπολειπόμενης ζήτησης. Αυτό συμβαίνει ακριβώς για τον ίδιο λόγο και απλώς αποτελεί μια διαφορετική οπτική του ίδιου φαινομένου με παραπάνω.

6.4.4 Ελαστικότητα Κάθε Τεχνολογίας Παραγωγής

Έχοντας παρατηρήσει την συμπεριφορά της αγοράς σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι σημαντικό να διερευνήσουμε και την συμπεριφορά της πλευράς παραγωγής στο ίδιο

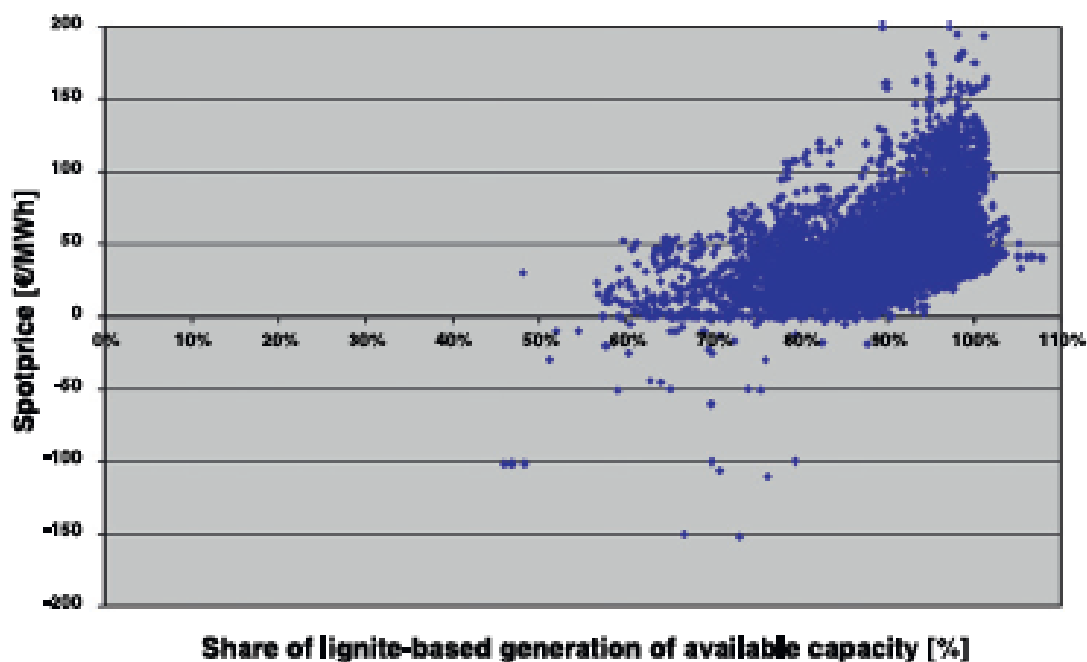
Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

χρονικό διάστημα. Αναλύσαμε πως η αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας οφείλονται στην ανελαστικότητα των εργοστασίων βάση. Θεωρητικά ο μηχανισμός δεν είναι εξαιρετικά περίπλοκος είναι όμως απαραίτητη η εμπειρική ανάλυση των δεδομένων των εργοστασίων για εκείνες τις ώρες όπου η αγορά ισορροπεί σε αρνητικές τιμές για να αποφανθούμε ένα συμβαδίζει με την θεωρητική προσέγγιση. Επομένως, στα επόμενα σχήματα βλέπουμε τους συντελεστές χρησιμοποίησης για τους βασικότερους τύπους συμβατικής παραγωγής σε σχέση με την οριακή τιμή του συστήματος. Στον άξονα Y βρίσκεται η οριακή τιμή ενώ στον άξονα X βρίσκεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης των εργοστασίων. Εξετάζουμε την πυρηνική παραγωγή, την λιγνιτική παραγωγή, την παραγωγή με βάση τον σκληρό άνθρακα και το φυσικό αέριο. Ως συντελεστή χρησιμοποίησης της κάθε τεχνολογίας θέτουμε το τελικό ποσοστό με βάση την συνολική διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα κάθε τεχνολογίας που συμμετείχε στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και όχι την συνολική εγκατεστημένη ισχύ για να αποφευχθούν απόκλιση λόγω εποχικότητας.

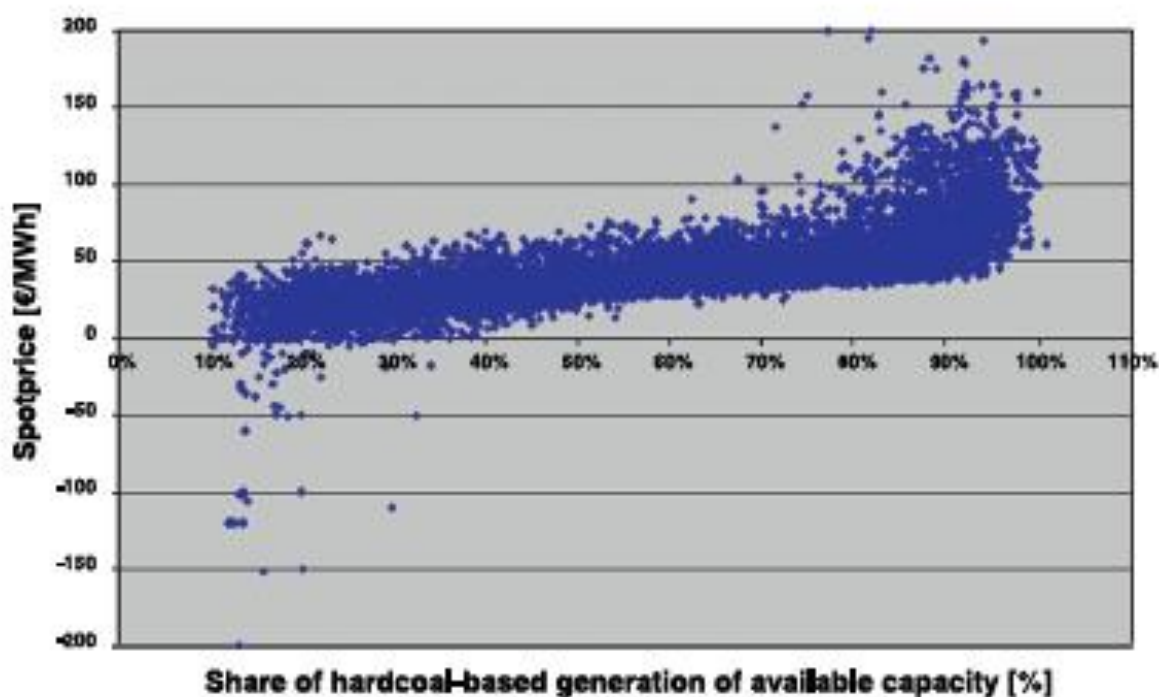


Σχ.34 : Ποσοστό πυρηνικής παραγωγής επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

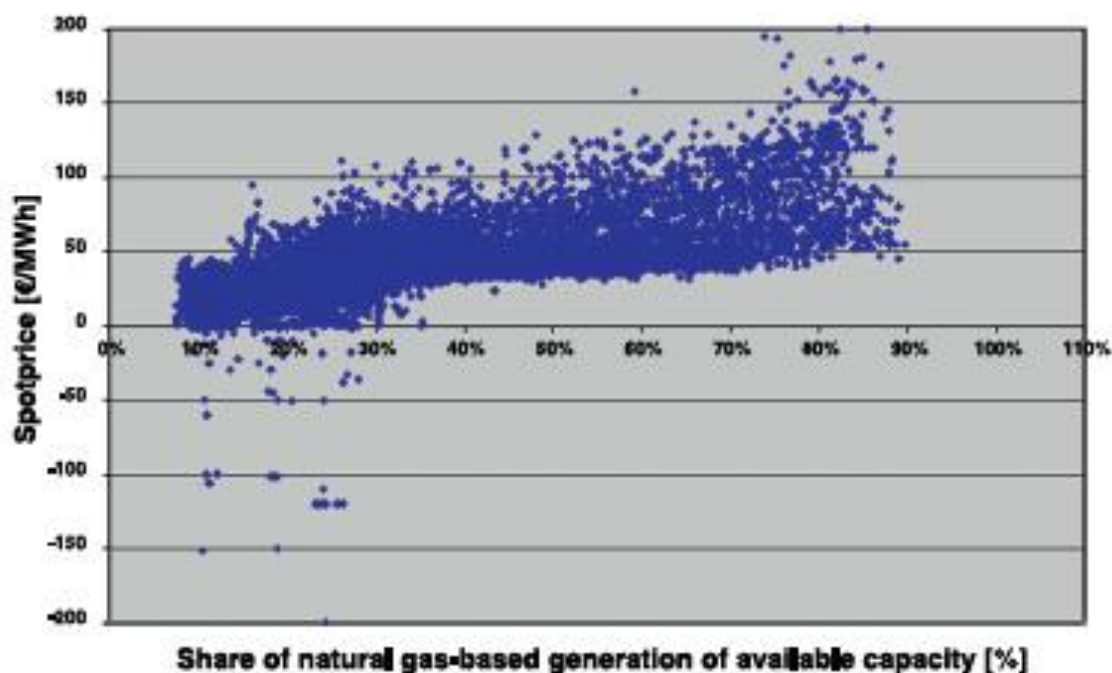


Σχ.35 : Ποσοστό λιγνιτικής παραγωγής επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας



Σχ.36 : Ποσοστό παραγωγής σκληρού άνθρακα επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.37 : Ποσοστό παραγωγής φυσικού αερίου επί της αντίστοιχης διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας

Στο Σχ.34 βλέπουμε ότι η παραγωγή από πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας εμφανίζει πολύ μικρή διακύμανση και η συνολική ισχύς εξόδου δεν είναι σε καμία περίπτωση χαμηλότερη από το 60 % της διαθέσιμης συνολικής ισχυρός εξόδου ενώ υπάρχει έντονη συγκέντρωση σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90 %. Η παραγωγή από τα λιγνιτικά εργοστάσια εμφανίζει μια κάπως αυξημένη ελαστικότητα. Παρόλα αυτά η παραγωγή επίσης δεν βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα από το 45 % της συνολικής διαθέσιμης λιγνιτικής παραγωγής, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση βρίσκεται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80 %. Αντιθέτως, στα επόμενα δυο σχήματα (Σχ.36, Σχ.37) παρατηρούμε ότι η παραγωγή βασισμένη στις τεχνολογίες υψηλού οριακού κόστους σκληρού άνθρακα και φυσικού αερίου έχει πολύ διαφορετική κατανομή στις τιμές των συντελεστών χρησιμοποίησης από ότι οι τεχνολογίες βάσης. Η παραγωγή σε καμία από τις δυο τεχνολογίες δεν πέφτει χαμηλότερα από το 10% της διαθέσιμης παραγωγής και ενώ η παραγωγή τεχνολογίας σκληρού άνθρακα κυμαίνεται από 10% εως 100%, η παραγωγή φυσικού αερίου δεν ξεπερνάει σε καμία περίπτωση το 90% της διαθέσιμης δυναμικότητας. Αυτό συμβαίνει λογικά για λόγους θετικής εφεδρείας ώστε να διαφυλαχτεί η ασφάλεια του συστήματος σε περιπτώσεις θετικής ανελαστικότητας.

Από τις αληθινές παρατηρήσεις των βαθμών συντελεστών των διάφορων τεχνολογιών παρατηρούμε ότι όντως η θεωρητική ανάλυση όσον αφορά την ελαστικότητα κάθε τύπου εργοστασίου επαληθεύεται από τα εμπειρικά δεδομένα.

6.4.5 Μελέτη Περιπτώσεων Αρνητικών Τιμών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στον επόμενο πίνακα θα δούμε στο χρονικό διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου 2009 και Νοεμβρίου του 2010, τις 19 ωρες στις οποίες η αγορά ισορρόπησε στις πιο ακραία αρνητικές τιμές. Ο πίνακα 17 μας δείχνει τα δεδομένα της πλευράς προσφοράς για όλες εκείνες τις ωρες. Φαίνεται πως η πυρηνική και η λιγνιτική παραγωγή ακόμα και στις πιο αρνητικές τιμές εξακολουθούν να έχουν πολύ υψηλότερους συντελεστές χρησιμοποίησης από τις πιο ελαστικές τεχνολογίες παραγωγής σκληρού άνθρακα και φυσικού αερίου. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι είναι ευνοημένοι από την κατάσταση αυτή. Οι παραγωγοί τεχνολογιών υψηλού οριακού κόστους μειώνουν την παραγωγή γιατί μπορούν να το πράξουν δίχως ιδιαίτερο κόστος. Όμως, οι παραγωγοί φορτίου βάσης παρότι διατηρούν υψηλότερους συντελεστές χρησιμοποίησης και πάλι είναι σε γενικές γραμμές ζημιωμένοι διότι αναμένουν αρκετά υψηλότερες τιμές ώστε να υπάρχει το χάσμα μεταξύ της προσφοράς τους και της οριακής τιμής του συστήματος που θα χρηματοδοτήσει την απόσβεση τους κόστους επένδυσης. Έτσι όταν ορίζουν τις τιμές δεν είναι κερδισμένοι όπως φαίνεται με την πρώτη ματιά αλλά στη πραγματικότητα ζημιωμένοι, όχι βέβαια τόσο όσο εάν χρειαζόταν να παύσουν τελείως την λειτουργία τους.

Στον πίνακα 17 βλέπουμε ότι ακόμα και στην χαμηλότερη τιμή που έχει καταγραφεί στις 4 Οκτωβρίου 2009, όπου η τιμή έφτασε στα -500 Euro/MWh, ο συντελεστής χρησιμοποίησης όλων των διαθέσιμων τεχνολογιών παραγωγής εκείνη την ώρα έφτασε στο 46%, ειδικότερα για την πυρηνική παραγωγή έφτασε το 83% και για την λιγνιτική παραγωγή το 71%. Οι αντίστοιχοι συντελεστές χρησιμοποίησης ήταν χαμηλότερη για την 26 Δεκεμβρίου ενώ η τιμή δεν ήταν αντίστοιχα χαμηλή και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη χρονική διάρκεια για την οποία επικράτησαν οι αρνητικές τιμές ενέργειας.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Index	Day	Date	Hour	Price	Nuclear absolute (MW)	Share (%)	Lignite absolute (MW)	Share (%)	Hardcoal absolute (MW)	Share (%)	Gas absolute (MW)	Share (%)	Total absolute (MW)	share (%)
		22.12.2008		Avail. Cap.	17,814		18,050		15,683		13,872		47,605	
1	Mo	22.12.2008	3	-101.5	12,938	72.6	8462	46.9	2085	13.3	2523	18.2	29,102	40.4
2	Mo	22.12.2008	4	-101.5	12,646	71.0	8300	46.0	2074	13.2	2575	18.6	28,686	39.9
3	Mo	22.12.2008	5	-101.5	12,904	72.4	8713	48.3	2121	13.5	2606	18.8	29,424	40.9
		08.03.2009		Avail. Cap.	14,989		17,201		13,103		11,502		62,821	
4	Su	08.03.2009	7	-110.0	13,629	90.9	13,112	76.2	3907	29.8	2771	24.1	36,239	57.7
		04.05.2009		Avail. Cap.	14,453		16,819		14,000		10,660		63,123	
5	Mo	04.05.2009	2	-151.7	13,034	90.2	12,284	73.0	2218	15.8	1119	10.5	32,181	51.0
6	Mo	04.05.2009	5	-99.7	13,478	93.3	13,344	79.3	2798	20.0	1285	12.1	34,275	54.3
		04.10.2009		Avail. Cap.	13,138		15,666		12,911		9475		56,928	
7	Su	04.10.2009	2	-105.8	11,136	84.8	11,089	70.8	1809	14.0	1061	11.2	26,690	46.9
8	Su	04.10.2009	3	-500.0	10,913	83.1	11,042	70.5	1765	13.7	1035	10.9	26,361	46.3
9	Su	04.10.2009	4	-100.1	10,842	82.5	10,942	69.8	1763	13.7	1034	10.9	26,175	46.0
		24.11.2009		Avail. Cap.	17,013		17,420		15,416		12,156		68,379	
10	Tu	24.11.2009	4	-149.9	14,088	82.9	11,608	66.6	3103	20.1	2292	18.9	32,703	47.8
		26.12.2009		Avail. Cap.	17,213		17,137		13,979		10,363		65,347	
11	Sa	26.12.2009	1	-119.9	12,033	69.9	10,215	59.6	1728	12.4	2724	26.3	29,054	44.5
12	Sa	26.12.2009	2	-120.0	11,470	66.6	10,005	58.4	1684	12.0	2531	24.4	27,990	42.8
13	Sa	26.12.2009	3	-120.0	10,627	61.7	9,908	57.8	1678	12.0	2422	23.4	26,886	41.1
14	Sa	26.12.2009	4	-120.0	10,705	62.2	10,151	59.2	1702	12.2	2401	23.2	27,207	41.6
15	Sa	26.12.2009	5	-120.0	11,149	64.8	10,153	59.2	1742	12.5	2434	23.5	27,745	42.5
16	Sa	26.12.2009	6	-120.0	11,265	65.4	10,152	59.2	1780	12.7	2484	24.0	27,968	42.8
17	Sa	26.12.2009	7	-200.0	10,990	63.8	10,008	58.4	1844	13.2	2528	24.4	27,711	42.4
18	Sa	26.12.2009	8	-199.9	11,486	66.8	10,288	60.0	1852	13.2	2531	24.4	28,678	43.9
19	Sa	26.12.2009	9	-120.0	12,646	73.5	11,105	64.8	1894	13.5	2657	25.6	31,067	47.5

Πίνακας 17 : Δεδομένα πλευράς προσφοράς για περιπτώσεις ακραίων αρνητικών τιμών

Στον πίνακα 18 φαίνεται σχέση μεταξύ της αιολικής διείσδυσης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, της συνολικής ζήτησης και των αρνητικών τιμών που προέκυψαν. Τα στοιχεία που προκύπτουν είναι πολύτιμα καθώς απεικονίζουν με σαφήνεια την επίδραση που έχει η ενσωμάτωση αιολικής ενέργειας σε σχέση όμως με το συνολικό φορτίο. Ιδίως ο λόγος των δυο μεγεθών γίνεται σαφές ότι επηρεάζει καθοριστικά την ελαστικότητα του συστήματος.

Το μέσο επίπεδο αιολικής ενέργειας για το εν λόγω χρονικό διάστημα ήταν 4,5 GW. Στις 4 Μαΐου του 2009, η τροφοδότηση του συστήματος με αιολική ενέργεια δεν ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση τροφοδότηση. Όμως το επίπεδο της ζήτησης ήταν αρκετά χαμηλό και αυτό οδήγησε την αγορά σε χαμηλή ελαστικότητα και σε μια από τις πιο αρνητικές τιμές της αγοράς. Αντιθέτως, στην αρνητικότερη τιμή που συνέβει στις 4 Οκτωβρίου, ο όγκος της ενσωματούμενης αιολικής ενέργειας ήταν πολύ υψηλός ενώ το επίπεδο της ζήτησης δεν ήταν ασυνήθιστα χαμηλό.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Index	Day	Date	Hour	Price (€/MWh)	Wind (MWh)	Load (MWh)	res.Load (MWh)
1	Mo	22.12.2008	3	-102	15,787	41,763	25,976
2	Mo	22.12.2008	4	-102	15,897	41,845	25,948
3	Mo	22.12.2008	5	-102	16,022	42,919	26,897
4	Su	08.03.2009	7	-110	8722	38,488	29,766
5	Mo	04.05.2009	2	-152	4965	34,922	29,957
6	Mo	04.05.2009	5	-100	4786	36,973	32,187
7	Su	04.10.2009	2	-106	17,607	42,051	24,444
8	Su	04.10.2009	3	-500	17,188	40,874	23,686
9	Su	04.10.2009	4	-100	17,072	40,176	23,104
10	Tu	24.11.2009	4	-150	17,614	50,041	32,427
11	Sa	26.12.2009	1	-120	19,809	48,107	28,298
12	Sa	26.12.2009	2	-120	19,263	45,566	26,303
13	Sa	26.12.2009	3	-120	18,262	44,250	25,988
14	Sa	26.12.2009	4	-120	17,259	43,799	26,540
15	Sa	26.12.2009	5	-120	16,264	43,666	27,402
16	Sa	26.12.2009	6	-120	15,704	42,982	27,278
17	Sa	26.12.2009	7	-200	14,464	40,903	26,439
18	Sa	26.12.2009	8	-200	13,929	41,835	27,906
19	Sa	26.12.2009	9	-120	13,579	43,588	30,009

Πίνακας 18 : Δεδομένα πλευράς ζήτησης για περιπτώσεις ακραίων αρνητικών τιμών

Τέλος, στον πίνακα 19 βλέπουμε τη σχέση μεταξύ της οριακής τιμής της αγοράς και της τιμής της τριτεύουσας αρνητικής εφεδρείας. Από το πίνακα διαπιστώνουμε ότι υπάρχει έντονα αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δυο μεγεθών. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα με τη τιμή της τριτεύουσας αρνητικής εφεδρείας να φτάνει τα μέγιστα επίπεδα όταν η οριακή τιμή της αγοράς φτάνει στα ακραία αρνητικά επίπεδα των -500 Euro/ MWh. Ο πίνακας 19 είναι σημαντικός και σε αντιπαράβολή με τους πίνακες 17, 18 διότι φαίνεται πως τα διαθέσιμα διασυνδεδεμένα στο σύστημα εργοστάσια σε σχέση με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους επηρεάζουν έντονα το επίπεδο του λόγου αιολικής διείσδυσης και συνολικού φορτίου στο οποίο η αγορά περνάει σε αρνητικές τιμές. Για παράδειγμα στις 24 Νοεμβρίου του 2009 το επίπεδο της ζήτησης ήταν 9 GW μεγαλύτερο από το αντίστοιχο επίπεδο στις 4 Οκτωβρίου.

Ωστόσο, η αγορά έδειξε έντονα αρνητικές τιμές ενώ δεν ήταν ούτε σαββατοκύριακο ούτε αργία (συνήθως σαββατοκύριακα και αργίες η ζήτηση είναι μειωμένη). Αυτό συνέβει επειδή υπήρχαν πολλά διαθέσιμα εργοστάσια που συμμετείχαν στην καμπύλη προσφοράς σε σχέση με τον συνολικό στόλο εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατάσταση αυτή απεικονίζεται στις τιμές της τριτεύουσας εφεδρείας του πίνακα 19.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

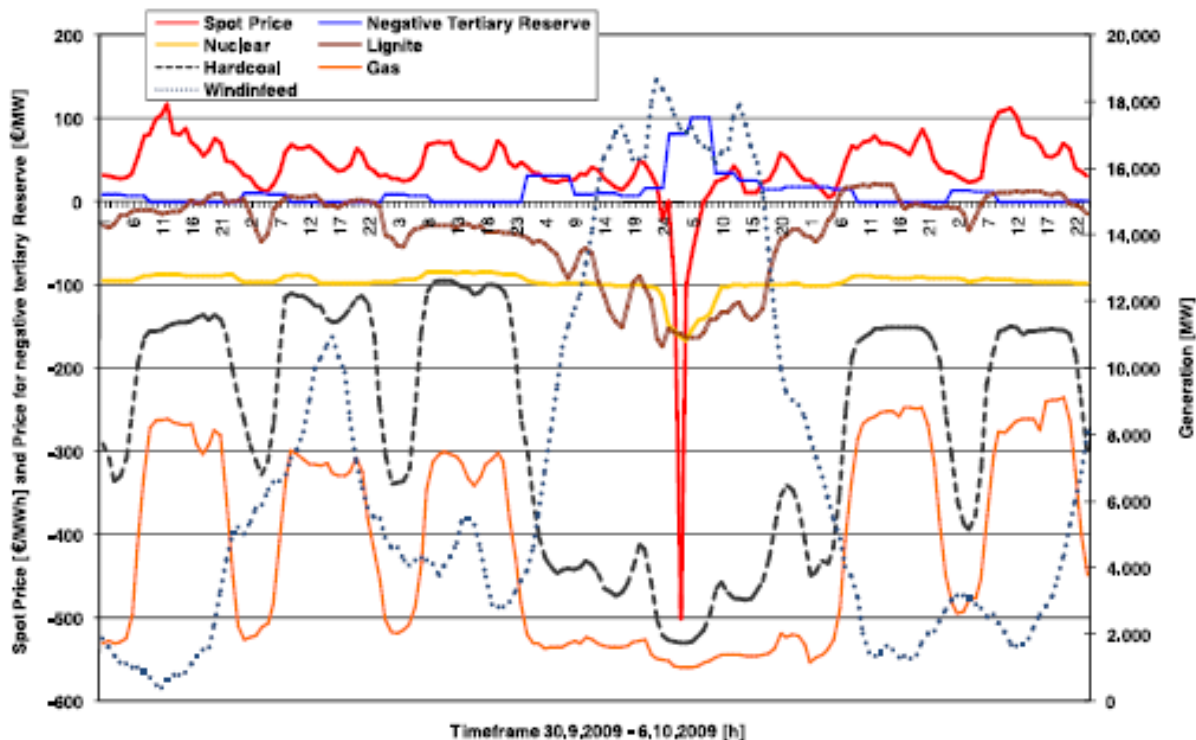
Index	Day	Date	Hour	Price (€/MWh)	positive (€/MW)	negative (€/MW)
1	Mo	22.12.2008	3	-101.5	0	31
2	Mo	22.12.2008	4	-101.5	0	31
3	Mo	22.12.2008	5	-101.5	0	29
4	Su	08.03.2009	7	-110.0	2	75
5	Mo	04.05.2009	2	-151.7	1	13
6	Mo	04.05.2009	5	-99.7	5	14
7	Su	04.10.2009	2	-105.8	0	81
8	Su	04.10.2009	3	-500.0	0	81
9	Su	04.10.2009	4	-100.1	0	81
10	Tu	24.11.2009	4	-149.9	1	68
11	Sa	26.12.2009	1	-119.9	1	100
12	Sa	26.12.2009	2	-120.0	1	100
13	Sa	26.12.2009	3	-120.0	1	100
14	Sa	26.12.2009	4	-120.0	1	100
15	Sa	26.12.2009	5	-120.0	1	185
16	Sa	26.12.2009	6	-120.0	1	185
17	Sa	26.12.2009	7	-200.0	1	185
18	Sa	26.12.2009	8	-199.9	1	185
19	Sa	26.12.2009	9	-120.0	1	16

Πίνακας 19 : Τιμές τριτεύουσας εφεδρείας για τις 19 ώρες με τις πιο ακραίες αρνητικές τιμές

Στο Σχ.38 παρουσιάζεται αναλυτικότερα η δυναμική όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν και συναποτελούν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας από την σκοπιά της ανάλυσης μας. Η ανάλυση γίνεται για την πιο ακραία αρνητική τιμή μέχρι στιγμής δηλαδή στις 4 Οκτωβρίου. Συγκεκριμένα, φαίνεται σχηματικά η αρνητική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των τιμών εκκαθάρισης της αγοράς ενέργειας και των τιμών για την τριτεύουσα εφεδρεία. Επίσης, φαίνεται πως σε καμία περίπτωση δεν μειώθηκε στο μηδέν η παραγωγή για κανένα τύπο τεχνολογίας. Ωστόσο, η παραγωγή από εργοστάσια σκληρού άνθρακα και φυσικού αερίου μειώθηκε αρκετά. Η παραγωγή από λιγνιτικά εργοστάσια μειώθηκε αισθητά για τα δεδομένα εργοστασίων βάσης. Αντιθέτως, η πυρηνική παραγωγή δεν μειώθηκε αισθητά.

Το σημαντικό συμπέρασμα που αναδεικνύεται από την ανάλυση είναι ότι ακόμα και σε τόσο αρνητικές τιμές όσο είναι τα -500 Euro/ MWh υπάρχει οικονομικό κίνητρο για του παραγωγούς να επιθυμούν να παραμείνουν ανοικτοί και παραγωγικοί καθώς η συνολική χρησιμοποίηση όλων των διαθέσιμων διασυνδεδεμένων τεχνολογιών δεν μειώθηκε κάτω από το 46%. Μια ενδεχόμενη μείωση σε χαμηλότερα επίπεδα ενδεχομένως να «ανακούφιζε» την αγορά που ασφυκτιούσε υπο τις έντονα αρνητικές τιμές, όμως κάτι τέτοιο δεν συνέβει.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



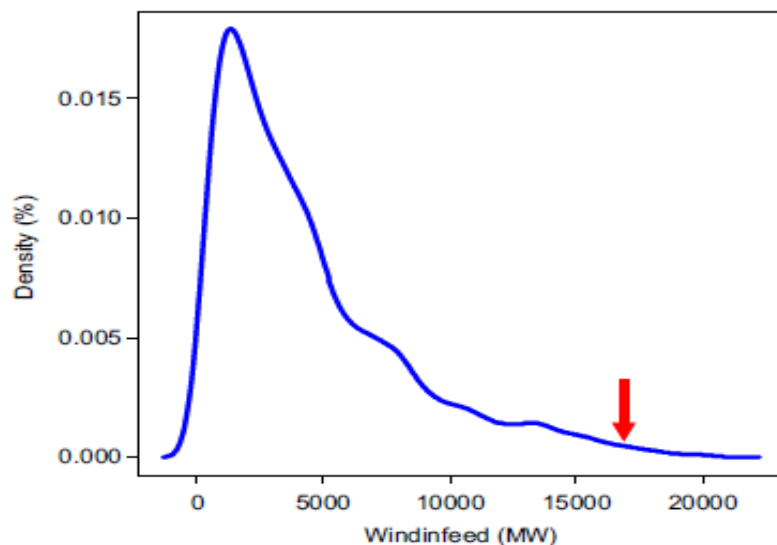
Σχ.38 : Διάγραμμα τιμής ηλεκτρικής ενέργειας & τριτευσας εφεδρείας & αιολικής παραγωγής & συμβατικων πηγών παραγωγής

6.4.6 Πιθανοτική Μελέτη Δημιουργίας Ανελαστικών Καταστάσεων

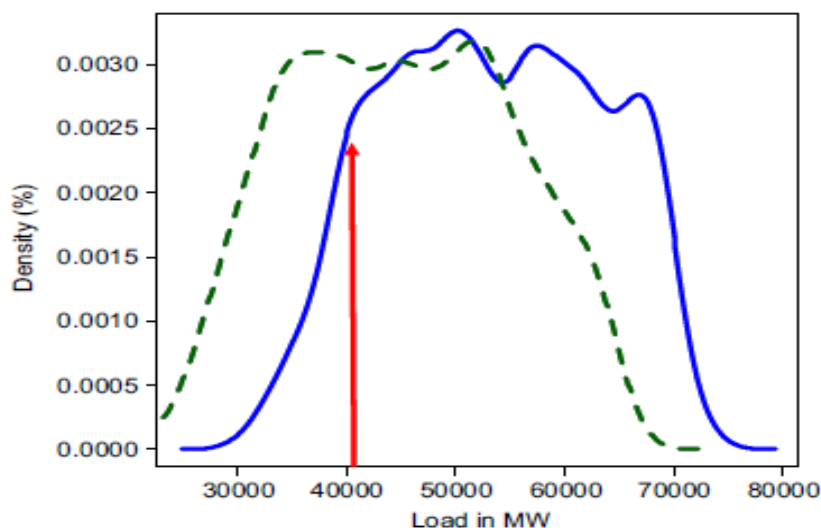
Έχει γίνει πλέον σαφές από την ανάλυση ότι όταν προκύπτουν αρνητικές τιμές η κατάσταση στην αγορά έχει γίνει πολύ αρνητικά ανελαστική. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ευκαιρίες για περαιτέρω μείωση της παραγωγής και τότε είναι προφανές ότι, αν όχι άμεσα τότε έμμεσα, σίγουρα προκαλεί τριγμούς στην ευστάθεια του συστήματος, καθώς η παραγωγή για τεχνικούς λόγους πρέπει πάντα να ισούτε με τη ζήτηση. Επομένως, είναι σημαντικό να διερευνηθεί, ανεξάρτητα από το μέγεθος των αρνητικών τιμών, ποσό πιθανοί είναι ο συσχετισμοί που δημιουργήθηκαν στην αγορά και οδήγησαν στις αρνητικές τιμές. Ακόμα είναι αναγκαίο να διερευνηθεί ένα μπορούν να δημιουργηθούν χειρότεροι συσχετισμοί για την ελαστικότητα του συστήματος και με ποια πιθανότητα (Worst case scenario). Ως σημείο αναφοράς θα πάρουμε την χειρότερη περίπτωση ανελαστικότητας του συστήματος που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα που είναι όπως είπαμε στις 4 Οκτωβρίου του 2009.

Το Σχ.39 δείχνει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την συνολική αιολική παραγωγή για το διάστημα από 10/2008 έως 12/2009. Το βέλος πάνω στο σχήμα δείχνει το επίπεδο της αιολικής παραγωγής στις 4 Οκτωβρίου του 2009. Παρότι τα 17.2 GW είναι μια αξιοσημείωτη ποσότητα αιολικής παραγωγής που διεισδύει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν ακόμα 75 ωρες στο χρονικό διάστημα που μελετάμε όπου το επίπεδο της αιολικής παραγωγής ξεπέρασε τα 17.2 GW. Η μέγιστη αιολική διείσδυση που παρατηρήθηκε στο σύστημα ήταν 20.8 GW. Η διαφορά των 3.6 GW ωστόσο θα μπορούσε να έχει τεράστιο αντίκτυπο στην ελαστικότητα του συστήματος. Η πιθανότητα για ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι πράγματι πολύ μικρή, όμως η εγκατεστημένη αιολική ισχύς πλέον (2012) στην Γερμανία έχει φτάσει τα 31.3GW αυξάνοντας αφενός αρκετά πολύ το θεωρητικό μέγιστο, αφετέρου την πιθανότητα να υπάρξει αιολική παραγωγή σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των 17.2 GW.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.39 : Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αιολικής παραγωγής



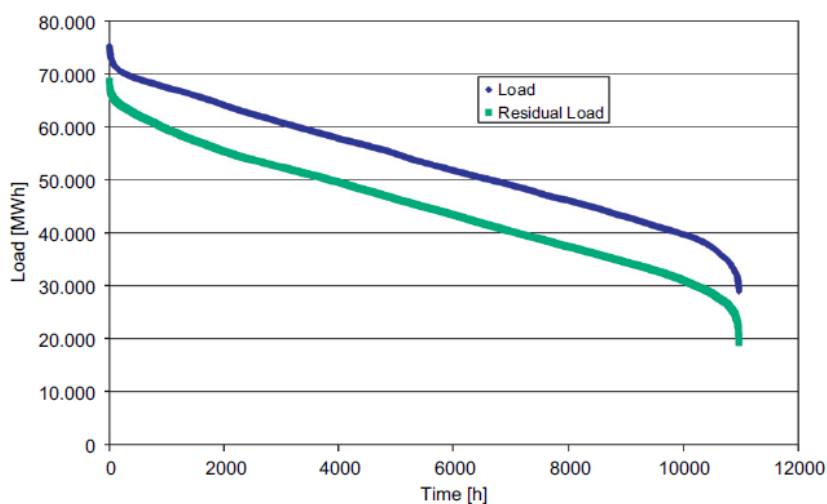
Σχ.40 : Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το επίπεδο συνολικής ζήτησης & υπολειπόμενης ζήτησης

Φυσικά, η δεύτερη παράμετρος είναι το συνολικό φορτίο δηλαδή η ζήτηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Πράγματι καθώς αυξήθηκε στο περασμένα χρόνια η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων αυξήθηκε και η συνολική μέση ζήτηση. Όμως όχι αντίστοιχα αφού όπως είδαμε το ποσοστό διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε, μειώνοντας το περιθώριο της υπολειπούσας ενέργειας που καλύπτεται από τους συμβατικούς παραγωγούς εντείνοντας την μέγιστη θεωρητική ανελαστικότητα του συστήματος. Στο Σχ.40 φαίνεται η συνάρτηση της πυκνότητας πιθανότητας για το επίπεδο της συνολική ζήτησης και της υπολειπομένης ζήτησης για το ίδιο χρονικό διάστημα. Για τον υπολογισμό τόσο της πιθανότητα όσο και του επιπέδου της υπολειπομένης ζήτησης γίνεται προφανώς χρήση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

του επιπέδου της αιολικής παραγωγής που φαίνεται στο Σχ.39. Όπως και πριν, το βέλος δείχνει τη συνολική αλλά και την υπολογιζόμενη ζήτηση στις 4 Οκτωβρίου του 2009.

Φαίνεται πως το επίπεδο της ζήτησης δεν ήταν ασυνήθιστα χαμηλό. Στην πραγματικότητα, για τα δεδομένα ζήτησης στην περίοδο 10/2008 έως 12/2009, υπήρχαν 1333 ωρες που είχαν χαμηλότερο επίπεδο ζήτησης από το οποίο υπήρχε όταν προκλήθηκαν οι αρνητικότερες τιμές που έχουν εμφανιστεί ποτέ. Συγκεκριμένα, 12,15% από όλες τις ωρες υπο ανάλυση είχαν επίπεδο ζήτησης χαμηλότερο από 40.874 GW. Το χαμηλότερο φορτίο που εμφανίστηκε ήταν 28.984 GW. Το υπολειπόμενο φορτίο που περιγράφεται με την διακεκομμένη γραμμή φαίνεται επίσης στο σχήμα. Προκύπτει ως αποτέλεσμα των δυο άλλων συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας. Είναι φανερό πως διαφοροποιείται τόσο η μορφή όσο και η θέση της καμπύλης ζήτησης. Το επόμενο σχήμα (Σχ.41) δείχνει μια διαφορετική οπτική της υπολειπομένης ζήτησης μέσω των καμπυλών διάρκειας φορτίου.



Σχ.40 : Ετήσιες καμπύλες φορτίου

Τα σχήματα σαφώς δείχνουν ότι υπάρχει αρκετά σημαντική πιθανότητα να δημιουργηθούν συνθήκες και προϋποθέσεις πολύ χειρότερες από αυτές που οδήγησαν στην κατάσταση ανελαστικότητας της αγοράς την 4^η Οκτωβρίου 2009. Όμως, οι τιμές εκείνης της ημέρας ήταν ακραία αρνητικές, φαινόμενο εντελώς αφύσικο για την λειτουργία του συστήματος. Επομένως, καλλιεργούνται εύλογες ανησυχίες για την αξιοπιστία και την σταθερότητα του συστήματος. Μια ενδεχομένως περισσότερο ανελαστική κατάσταση θα μπορούσε να οδηγήσει την αγορά σε αδυναμία εκκαθάρισης και το σύστημα σε κατάρρευση.

Στο επόμενο κομμάτι της εργασίας, θα αναλύσουμε την διακύμανση των τιμών της αγοράς καθώς και τις μακροπρόθεσμες συνέπειες βασισμένες σε όσα μέχρι στιγμής έχουν αναλυθεί προκειμένου να καταλήξουμε σε συμπεράσματα τόσο για την συνολική οικονομοτεχνική επίδραση που έχει η διείδυση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για τις δυνατότητες και προϋποθέσεις για περαιτέρω αυξημένους βαθμούς διείδυσης της αιολικής ενέργειας.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

*Κεφάλαιο 7^ο: Επίπτωση της
Αιολικής Διείσδυσης στη
Διακύμανση των Τιμών*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

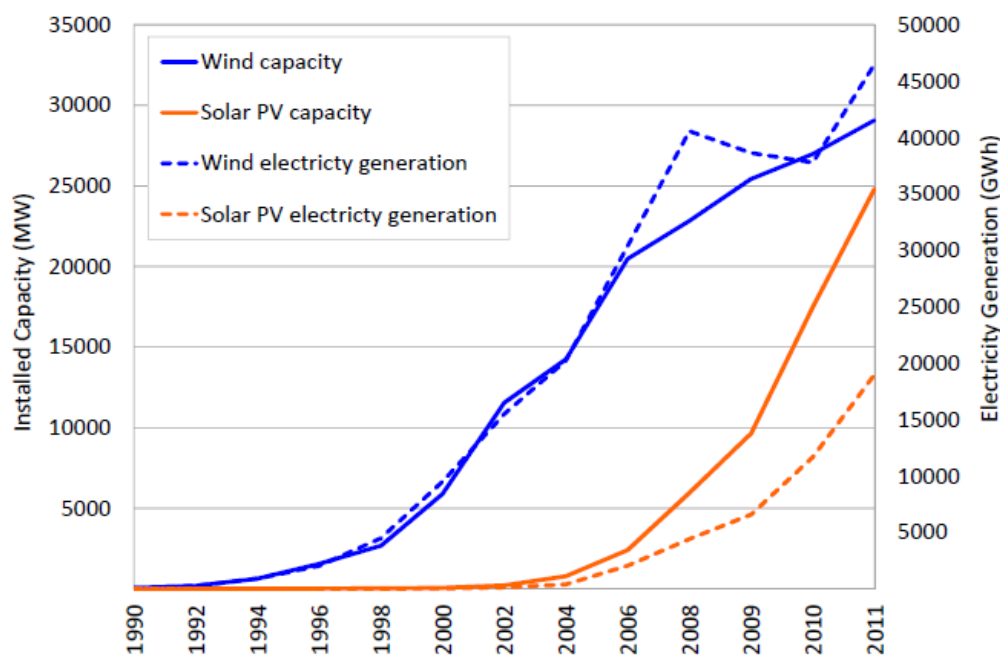
Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Έχοντας αναλύσει ενδελεχώς τις επιπτώσεις που έχει η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα των αιολικών στο επίπεδο τιμών χονδρικής αλλά και λιανικής για τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, η προσοχή μας εστιάζεται σε μια άλλη αλλά εξίσου σημαντική παράμετρο. Την επίδραση που έχει η αύξουσα διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην διακύμανση των τιμών. Η παράμετρος αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική διότι επηρεάζει πολύ την πλευρά προσφοράς, δηλαδή τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μια ευσταθής και προβλέψιμη τιμή αυξάνει τα περιθώρια κέρδους των παραγωγών, μειώνει τα κόστη, αλλά και συνολικά αυξάνει τα κοινωνικά πλεονάσματα. Αυτό συμβαίνει διότι με μια ευσταθή και προβλέψιμη τιμή μειώνονται τα σφάλμα μεταξύ της προγραμματισμένης παραγωγής και της τελικής πραγματικής παραγωγής, βελτιστοποιώντας τη χρησιμοποίησης όλου του διαθέσιμου παραγωγικού δυναμικού.

Για την μελέτη της επίπτωσης της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας θα χρησιμοποιήσουμε ως μελέτη περίπτωσης επίσης τη Γερμανία.

Έχουμε δει τα δεδομένα για την αιολική παραγωγή και εγκατεστημένη αιολική ισχύ στο τέλος του 2012 όμως το παρακάτω σχήμα (Σχ.42) απεικονίζει την εξέλιξη τόσο της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής όσο και της εγκατεστημένης ισχύος των δυο πηγών ενέργειας από το 1990 έως και το 2011. Η Γερμανία βρίσκεται σε φάση απόσυρσης της πυρηνικής ενέργειας από το ενεργειακό της μείγμα και αυτό έχει ως συνέπεια την αυξημένη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και την αυξημένη σημασία τους για την ευστάθεια και τη λειτουργία του συστήματος. Έτσι, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με την αιολική να πρωτοστατεί, επωμίζονται επίσης μεγαλύτερο βαθμό ευθύνης ως πηγή ενέργειας κάλυψης του φορτίου βάσης που μέχρι πρόσφατα καλύπτοντας σε τεράστιο βαθμό από την πυρηνική ενέργειας.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



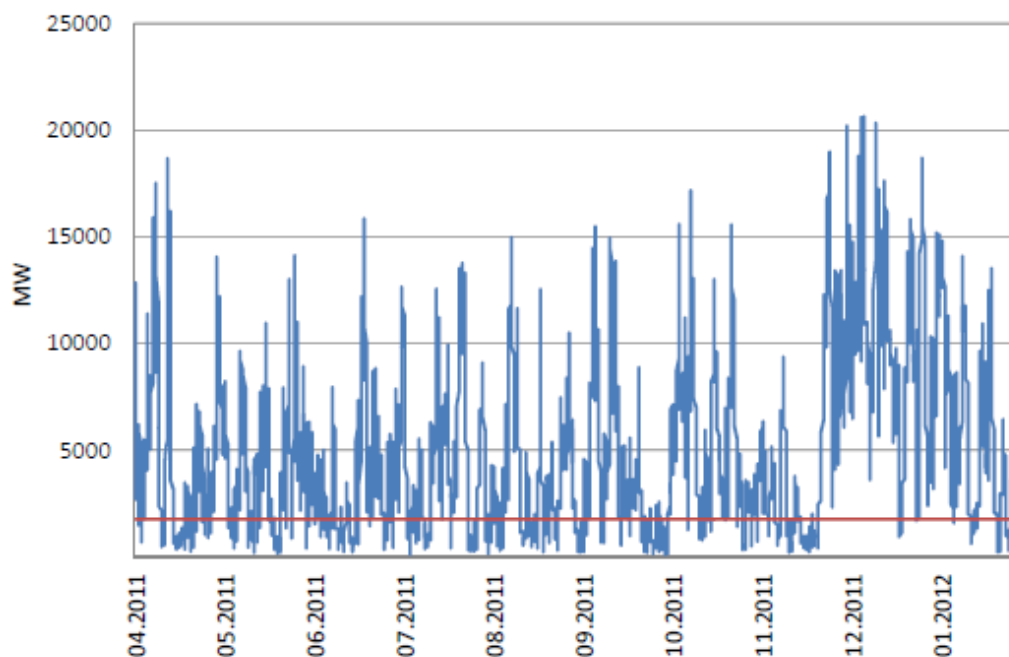
Source: BMU (2012).

Σχ.42 : Εγκατεστημένη ισχύς και πραγματική παραγωγή για αιολική και φωτοβολταϊκή ενέργεια

7.1 Ορισμός του Capacity Credit

Ωστόσο, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και οι διαχειριστές τους αντιμετωπίζουν δυο κύριες προκλήσεις με την εξέλιξη αυτή. Αρχικά, η αιολική παραγωγή ενέργειας και η φωτοβολταϊκή παραγωγή έχουν διακοπτόμενη χαρακτήρα και είναι πολύ δύσκολα προσαρμόσιμες στην ηλεκτρική ζήτηση. Αυτό από τη οδήγησε όπως περιγράψαμε και στο προηγούμενη κομμάτι σε καταστάσεις με πολύ περιορισμένη ελαστικότητα που ως συνέπεια είχαν τις αρνητικές τιμές. Τα χαρακτηριστικά αυτά δεν τις επιτρέπουν να αποτελέσουν τέλει υποκατάστατο των συμβατικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το Σχ.43 δίνει μια εικόνα της στοχαστικότητας της αιολικής παραγωγής. Η οριζόντια γραμμή δείχνει το δυνατό ποσό υποκατάστασης (capacity credit), δηλαδή το ποσό της εγκατεστημένη συμβατικής ισχύος που μπορεί να υποκατασταθεί με την υπάρχουσα εγκατεστημένη αιολική παραγωγή, δεδομένου του υπάρχοντος στόλου εργοστασίων συμβατικού τύπου και διατηρώντας της ασφάλεια της παραγωγής.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.43 : Επίπεδο αιολικής παραγωγής και capacity credit

Στο σχήμα φαίνεται η ωριαία αιολική παραγωγή για το διάστημα από 4/2011 έως και 1/2012. Η οριζόντια γραμμή δείχνει ότι το ποσό της αιολικής παραγωγής που είναι σίγουρο ότι θα είναι διαθέσιμο κατά τη διάρκεια κάποια ώρα όπου η ζήτηση θα είναι μέγιστη. Αυτό το ποσό είναι ένα ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Οι Schaber et al (2012) και Hulle (2009) υπολογίζουν το ποσό του capacity credit να είναι το 6% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης, από το γράφημα φαίνεται ότι η αιολική παραγωγή είναι εξαιρετικά στοχαστική και παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το δεύτερο ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές του συστήματος είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν προτεραιότητα στην κάλυψη της ζήτησης σε σχέση με τους συμβατικούς παραγωγούς και αυτό οδηγεί πολλές φορές το σύστημα σε οριακές καταστάσεις όπως είδαμε στο προηγούμενο σκέλος της εργασίας. Ακόμα και όταν περικόπτονται την παραγωγή τους και δεν παράγουν για λόγους ασφαλείας του συστήματος, οι παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πληρώνονται σαν να παρήγαγαν το αντίστοιχο ποσό ενέργειας που εν δύναμη θα μπορούσαν.

Η διείσδυση αιολικής ενέργειας μειώνει την οριακή τιμή του συστήματος, όπως είδαμε, και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Merit Order Effect. Παράλληλα όμως, όσο αυξάνεται η διείσδυση της διακοπτόμενης αιολικής ενέργειας αυξάνεται και η αστάθεια των τιμών εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

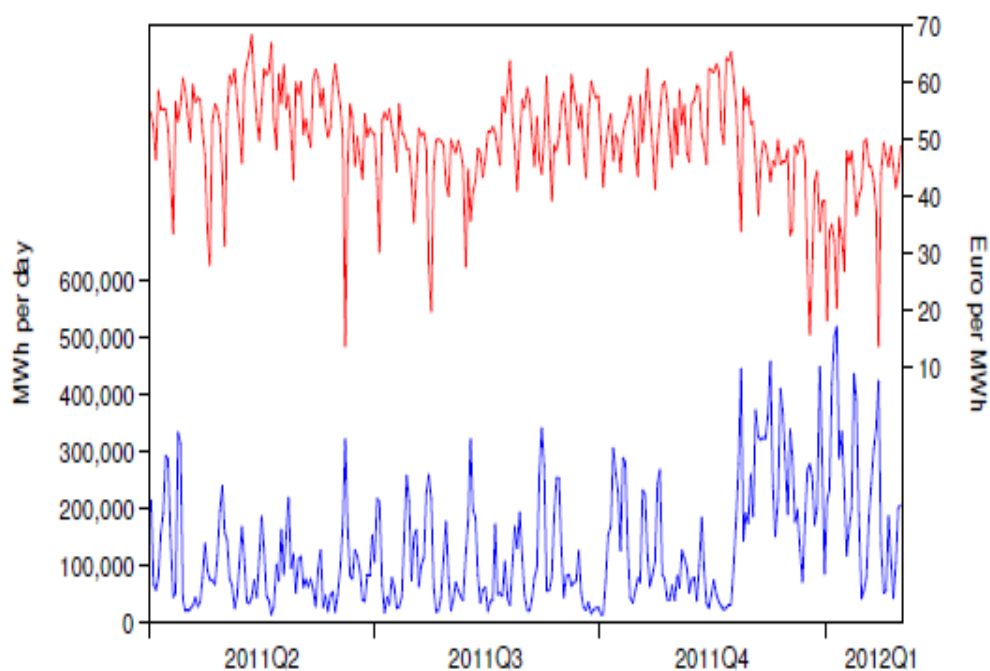
7.2 Αιτίες Αύξησης της Μεταβλητότητας των Τιμών

Η πιο προφανής αιτία για την ενίσχυση της αστάθειας των τιμών που προκύπτει με την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας είναι η στοχαστικότητα της ίδιας της έντασης του ανέμου. Όπως έχουμε δει το υπολειπόμενο φορτίο που δεν καλύπτεται από την αιολική παραγωγή καλύπτεται από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, όταν μεταβάλλεται ο όγκος της αιολικής ενέργειας που διεισδύει στο σύστημα μεταβάλλεται και το υπολειπόμενο φορτίο αλλάζοντας επόμενος διαρκώς το σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς με την καμπύλη ζήτησης. Η σημαντική παράμετρος στην μεταβολή της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τυχαιότητα. Όταν η μεταβολές είναι προβλέψιμες τότε τα προβλήματα που δημιουργούνται από αυτές ελαχιστοποιούνται. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τρεις κύριες συνιστώσες την στοχαστικότητα, την εποχικότητα και την τάση.

Το επόμενο σχήμα (Σχ.44) παρουσιάζει τα αρχικά ανεπεξέργαστα δεδομένα ανάμεσα στην ημερήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας και τις τιμές της αγοράς. Οι αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στα δυο μεγέθη είναι προφανής καθώς οπότε η υψηλή ένταση ανέμου επιτρέπει υψηλά επίπεδα αιολικής παραγωγής παρατηρούμε πτώση της τιμής ενώ αντίθετα οι υψηλές τιμές συμβαίνουν σε αιολική παραγωγή μικρότερη του μετρίου. Είναι επίσης σαφές ότι η έντονη στοχαστικότητα των τιμών συσχετίζεται με την στοχαστικότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

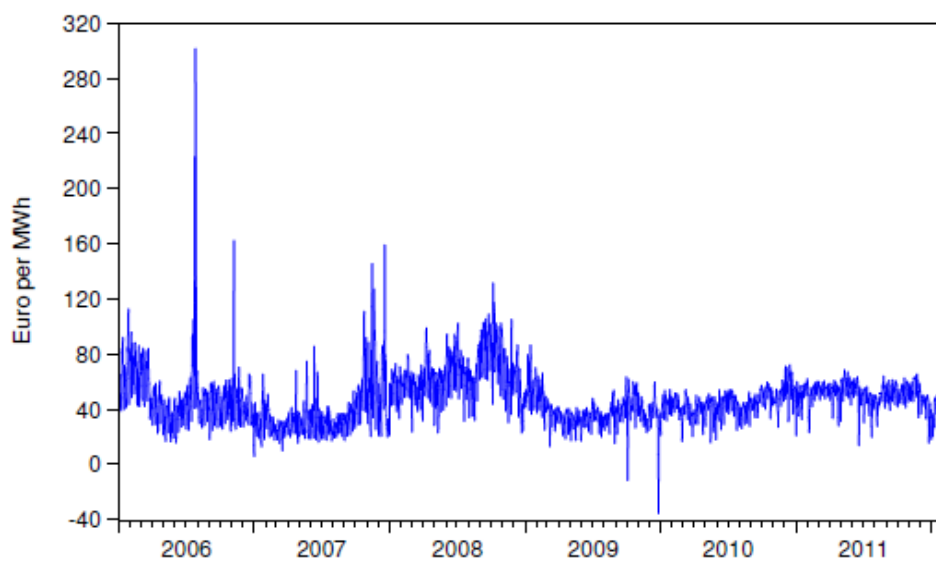
Το σχήμα αναφέρεται σε δεδομένα της ημερήσιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας Phelix Day Base από το χρηματιστήριο ενέργειας European Energy Exchange (EEX). Το διάστημα στο οποίο αντιστοιχούν οι τιμές όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι από το δεύτερο τετράμηνο του 2011 έως και το πρώτο τετράμηνο του 2012. Όπως είδαμε υπάρχουν ξεχωριστά συμβόλαια για κάθε ώρα της ημέρας και οι όγκοι των συναλλαγών για καθεμιά από τις 24 ώρες καθορίζονται σε μια δημοπρασία στις 12:00. Τέλος, το Phelix Day Base υπολογίζεται ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος όλων των τιμών των επιμέρους ωρών.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.44 : Αρνητική συσχέτιση αιολικής παραγωγής και τιμής ηλεκτρικής ενέργειας

Η διαμόρφωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, το Phelix Day Base, παρουσιάζεται στο Σχ.45. Η ανάλυση καλύπτει την περίοδο από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Ιανουάριο του 2012. Όπως φάνηκε και στο Σχ.42, η εγκατεστημένη αιολική ισχύς είχε πλέον ξεπεράσει τα 20 GW και αποτελούσα μια σημαντική συνιστώσα στο ενεργειακό μείγμα της Γερμανίας.



Σχ.45 : Εξέλιξη χονδρικής τιμής χρηματιστηρίου Γερμανίας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Είναι προφανές ότι υπάρχει αρκετά μεγάλη διακύμανση ειδικότερα στα πρώτα χρόνια διότι έπειτα έγινε αναπροσαρμογή του μηχανισμού στήριξης των ΑΠΕ, EEG ώστε να αναχαιτιστεί το φαινόμενο. Επίσης, φαίνονται οι αρνητικές τιμές όπως και οι ακραία υψηλές που όπως είδαμε δείχνουν έντονη ανελαστικότητα του συστήματος.

7.2.1 Διαδικασία Αποεποχικοποίησης των Τιμών

Στον πίνακα 20 εμφανίζεται στην αρχική χρονοσειρά εξαιρετικά έντονη κύρτωση και στρέβλωση (kurtosis and skewness). Αυτό προέρχεται είτε λόγω ακραίων τιμών (ειδικά γεγονότα) ή λόγω αυτοσυσχέτισης (Bierbrauer et al. 2007). Επομένως, οι ακραίες τιμές εντοπίζονται και φιλτράρονται πριν υλοποιηθεί η εμπειρική ανάλυση. Το φιλτράρισμα των ακραίων τιμών γίνεται στις τιμές όπου αποκλίνουν περισσότερο από τρεις φορές την τυπική απόκλιση της αρχικής χρονοσειράς τιμών (αντίστοιχα με Mugele et al 2005; Gianfreda 2008). Οι τιμές που φιλτράρονται αντικαθίστανται με το τριπλάσιο της τυπικής απόκλισης της αντίστοιχης ημέρας της εβδομάδας.

	Mean	Median	Max	Min	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis
Original Price	48.06	46.07	301.54	-35.57	18.80	2.31	22.94
Deseasonalized	48.06	45.80	114.52	1.96	15.18	0.85	4.11
Log Deseasonalized	3.82	3.82	4.74	0.67	0.32	-0.70	8.09

Πίνακας 20 : Στατιστικοί δείκτες για τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (2^ο τετράμηνο 2011 - 1^ο τετράμηνο 2012)

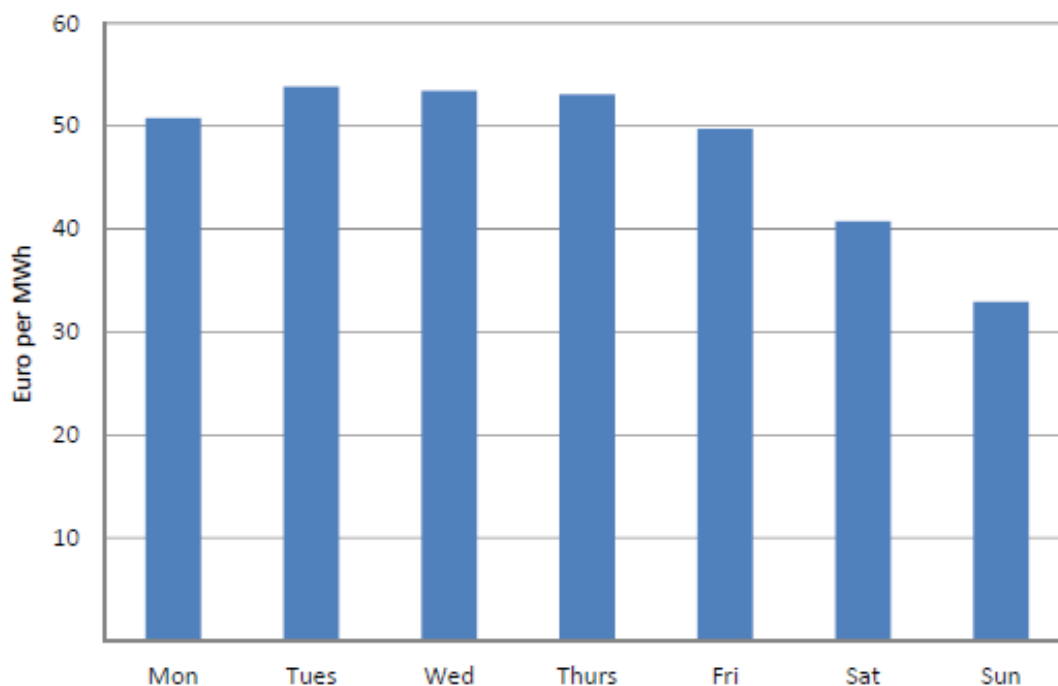
Όμως η συνιστώσα της εποχικότητας μπορεί να απομονωθεί. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αποεποχικοποίησης μιας χρονοσειράς όπως μέσω κινητών ή δίπλα κινητών μέσων όρων. Παρόλα αυτά συνηθίζεται στην βιβλιογραφία η εβδομαδιαία και ετήσια εποχικότητα να αντιμετωπίζονται χρησιμοποιώντας συναρτήσεις σταθερού βήματος (constant step functions), οι οποίες εμπεριέχουν πλασματικές τιμές (dummies) για κάθε εποχιακό κύκλο (για περισσότερα βλέπε Truck and Weron, 2004). Dummies για κάθε ημέρα της εβδομάδος d_i και για κάθε μήνα m_j συμπεριλαμβάνονται στην παρακάτω συνάρτηση για να εντοπίσουν την εποχικότητα. Στο παράδειγμα της Γερμανίας το παρακάτω σχήμα μας δίνει τους συντελεστές (coefficients) των dummies.

$$s_t = c + \sum_{i=1}^7 \xi_i d_i + \sum_{j=1}^{12} \nu m_j$$

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η αποεποχικοποίηση μπορεί να γίνει και με τριγωνομετρικές συνιστώσες (Lucia and Schwartz,2002; Bierbrauer et al, 2007) όμως τέτοιες ημιτονοειδής τάσεις δεν εμφανίζονται στα δεδομένα ηλεκτρισμού της Γερμανίας από το 2006 έως το 2012.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.46) φαίνεται πως η μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται για κάθε μέρα της εβδομάδας για την Γερμανία στο διάστημα από το 2006 έως το 2012. Αντιστοίχως, η τιμή έχει μοτίβο κατά την διάρκεια του έτους, ανάλογα με τις εποχές που μεταβάλλεται η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια.



Σχ.46 : Εποχικότητα τιμής κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας

Η J. Ketter (2012) εφαρμόζει αυτή τη διαδικασία ώστε να μοντελοποιήσει την χρονοσειρά των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας από το 2006 έως το 2012 μέσω του μοντέλου GARCH.

Η αποεποχικοποίηση που γίνεται στην ανάλυση της στον πίνακα 21, καταλήγοντας στα αποεποχικοποιημένα δεδομένα του πίνακα 20. Οι συντελεστές για τις πλασματικές τιμές των εβδομαδιαίων ημερών ακολουθούν το ίδιο μοτίβο όπως και στο Σχ.46. Η τιμές παραμένουν υψηλές κατά τις πρώτες ημέρες της εβδομάδας, μειώνονται σταδιακά από την Παρασκευή και φτάνουν στο ελάχιστο επίπεδο την Κυριακή. Τα dummies για τους μήνες δεν είναι όλα σημαντικά, αλλά μια μείωση των τιμών παρατηρείται τον Μάρτιο, τον Απρίλιο, τον Μάιο και τον Αύγουστο. Τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο, οι τιμές είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τον Ιανουάριο.

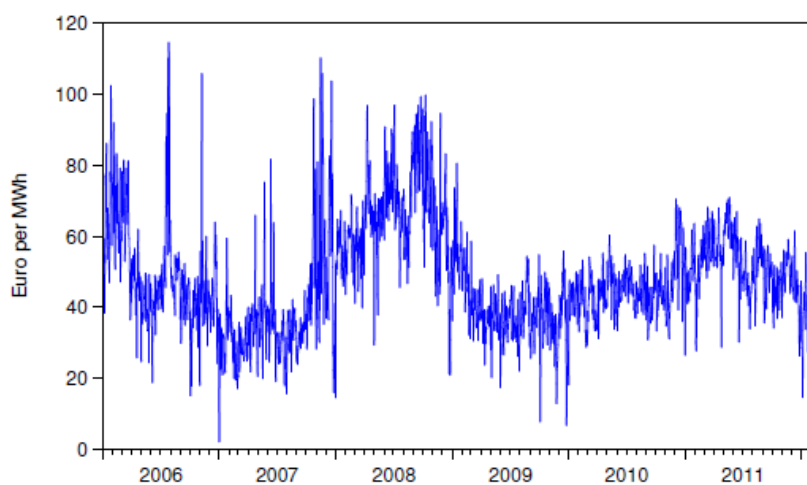
Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

	Coefficient	p-value
c	51.89	(<0.0001)
Tue	2.76	(0.0226)
Wed	2.59	(0.0321)
Thu	2.04	(0.0912)
Fri	-0.85	(0.4784)
Sat	-9.47	(<0.0001)
Sun	-17.49	(<0.0001)
Feb	1.07	(0.4934)
Mar	-3.80	(0.0126)
Apr	-4.54	(0.0032)
May	-6.90	(<0.0001)
Jun	-2.82	(0.0670)
Jul	-0.56	(0.7100)
Aug	-5.66	(0.0002)
Sep	2.00	(0.1913)
Oct	6.27	(<0.0001)
Nov	3.73	(0.0152)
Dec	-2.39	(0.1170)

Πίνακας 21 : Συντελεστές αποεποχικοποίησης & P- Values

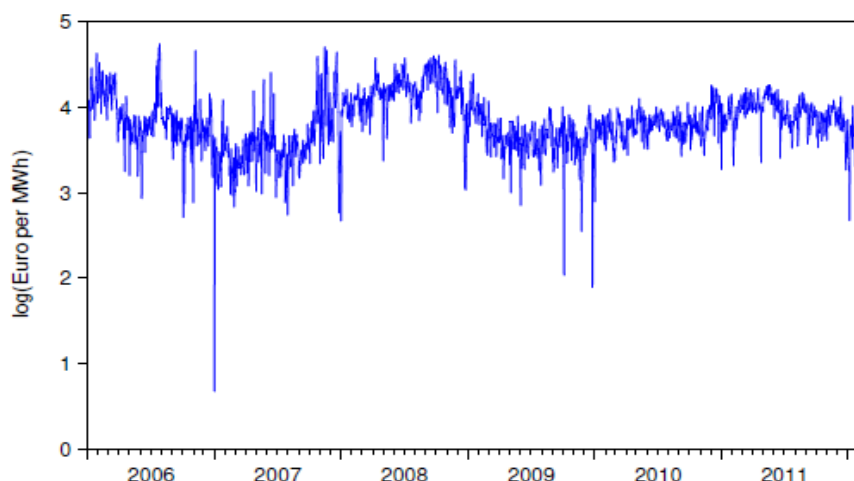
7.2.2 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Βλέπουμε στο παρακάτω σχήματα τα αποτελέσματα της για την αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά. Το Σχ.48 δείχνει το λογαριθμικό επίπεδο της αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς



Σχ.47 : Αποεποχικοποιημένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.48 : Λογαριθμική αποεποχικοποιημένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας

Πέραν από την συνιστώσα της εποχικότητας, και η τάση μιας χρονοσειρά είναι σημαντική παράμετρος κατά τη διαδικασία αποσύνθεσης της. Όντως, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας γενικότερα έχει αυξητική τάση. Παράλληλα, υπάρχει και η κυκλικότητα καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί και τους κύκλους της οικονομίας. Είναι γεγονός ότι σε μια οικονομία που ανθίζει η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξανόμενη ενώ αντίθετα σε μια φθίνουσα οικονομία είναι στάσιμη ή αντιστοίχως φθίνουσα. Ωστόσο, οι μεταβολές αυτές είναι αρκετά αργές και δεν επηρεάζουν τις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις. Επηρεάζουν όμως το μακροχρόνιο σχεδιασμό του συστήματος. Για το διάστημα που αναφερόμαστε δεν αποτελούν σημαντική παράμετρο.

7.3 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι ακόμα και η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά έχει μεγάλο βαθμό στοχαστικότητας και μεταβλητότητας. Η αστάθεια που παρατηρείται δεν μπορεί παρά να οφείλεται στις διακοπτόμενες στοχαστικές πηγές ενέργειας που ενσωματώνονται στο σύστημα με κυρίαρχη την αιολική. Ο αυξανόμενος βαθμός εγκατεστημένης ισχυρής αιολικής ενέργειας προς αντικατάσταση της πυρηνικής ενέργειας ως φορτίο βάσης δημιουργεί τέτοιες στρεβλώσεις. Το μέγεθος του capacity credit είδαμε πως είναι σχετικά μικρό οπότε είναι δύσκολο να αντικατασταθούν σε μεγάλο βαθμό οι συμβατικές πηγές παραγωγής φορτίου βάσης για λόγους ασφαλείας του συστήματος. Όμως το δυναμικό της παραγωγής αιολικής ενέργειας είναι αυξημένο με αποτέλεσμα όταν επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό επίπεδο υπάρχουν απότομες πτώσεις των τιμών. Στον αντίποδα, λόγω της αυξημένης εξάρτησης από την αιολική ενέργεια όταν δεν υπάρχει η αναμενόμενη παραγωγή δημιουργούνται θετικές ανελαστικότητες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα η αγορά να ισορροπεί σε πολύ υψηλές τιμές. Έτσι, η διακύμανση των τιμών

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αυξάνεται και δημιουργείται αστάθεια στις τιμές που εξαρτούνται πλέον σημαντικά από τις διακοπτόμενες πηγές παραγωγής όπως η αιολική ενέργεια.

Το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη γεωγραφική συγκέντρωση στις εγκαταστάσεις αιολικής παραγωγής ενισχύει το φαινόμενο. Μια πιο διεσπαρμένη αιολική παραγωγή θα μπορούσε να αμβλύνει την στοχαστικότητα που διέπει την ένταση του ανέμου. Όμως οι δυνατές τοποθεσίες για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων είναι πεπερασμένες. Για παράδειγμα στην Γερμανία υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση στο βόρειο κομμάτι της χώρα με αποτέλεσμα να ενισχύονται οι διακυμάνσεις αφού πολλαπλασιάζονται οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας που συντονίζονται στην ίδια στοχαστικότητα του ανέμου.

Αντιθέτως, η φωτοβολταϊκή ενέργεια παρότι διακοπτόμενη έχει μικρότερη στοχαστικότητα και οι καμπύλες παραγωγής εναρμονίζονται με τις καμπύλες φορτίου κατά τη διάρκεια μιας μέρας. Έτσι, παρότι και η φωτοβολταϊκή ενέργεια ως στοχαστική πηγή ενέργειας επίσης ενισχύει την αστάθεια των τιμών, το αντίκτυπο δεν είναι τόσο ισχυρό σε σχέση με την αιολική παραγωγή.

*Κεφάλαιο 8^ο: Μακροπρόθεσμες
Επιπτώσεις*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

8.1 Προβλήματα & Συνέπειες

Για την ανάλυση της συνολικής επίδρασης που έχει η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας με αυξανόμενους ρυθμούς υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις καθώς και πολλές σκοπιές. Είδαμε στο πρώτο κομμάτι της ανάλυσης των οικονομικών επιπτώσεων ότι η διείσδυση της αιολικής ενέργειας μειώνει τις τιμές χονδρικής μέσω του αμέσου (Merit Order Effect) και του έμμεσου μηχανισμού. Η τιμή λιανικής βρίσκεται σε είτε απόλυτη αρνητική συσχέτιση (absolute relative correlation) ή σε σχετική αρνητική συσχέτιση (relative negative correlation) με την αυξανόμενη αιολική παραγωγή. Στην πρώτη περίπτωση, η μείωση της οριακής τιμής του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την αύξηση των τιμολογίων των τελικών καταναλωτών λόγω της χρηματικής επιδότησης των μηχανισμών στήριξης των ΑΠΕ που αντιστοιχούν στην αιολική ενέργεια. Στη δεύτερη περίπτωση, αντιθέτως δεν επαρκεί η μείωση των τιμών χονδρικής με αποτέλεσμα οι τελικές τιμές να αυξάνονται. Πιο είναι το πραγματικό αποτέλεσμα είναι αρκετά αβέβαιο και εξαρτάται από τις υποθέσεις και τις παραμετροποιήσεις των μεταβλητών.

Σε κάθε περίπτωση όμως, από την σκοπιά των καταναλωτών οι επιβαρύνσεις δεν είναι υπερβολικές και όσο αυξάνεται η ανταγωνιστικότητα των ΑΠΕ τόσο μειώνονται. Εγείρεται όμως ένα πρόβλημα διαφορετικό σε σχέση με τη δυνατότητα περαιτέρω διείσδυσης των ΑΠΕ στο παρόντα συστήματα αιολικής ενέργειας. Το πρόβλημα εντοπίζεται στην πλευρά της παραγωγής και στον τρόπο που αντιμετωπίζουν οι συμβατικοί παραγωγοί ενέργειας την καλπάζουσα αύξηση της αιολικής διείσδυσης. Το ζήτημα είναι εκ πρώτης όψης οικονομικής φύσεως όμως σε τελική ανάλυση καταλήγει να είναι τεχνικής φύσεως και σχετίζεται με την ασφάλεια του συστήματος που δεν έχει σχεδιαστεί με τρόπο που να μπορεί εύκολα να στηρίξει τέτοια μεγέθη διακοπτόμενης παραγωγής.

8.2 Μεταβολές στο Συμβατικό Παραγωγικό Δυναμικό

Στην ανάλυση των αρνητικών τιμών είδαμε ότι η δυνατότητα που δόθηκε από τους διαχειριστές για κλείσιμο της αγοράς σε αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μια συμφέρουσα επιλογή τόσο για το πλεόνασμα του καταναλωτή όσο και για του παραγωγού βελτιστοποιώντας το συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα.

Εντούτοις, η κατάσταση της αγοράς που οδηγεί στις αρνητικές τιμές είναι προβληματική και απλώς η δυνατότητα για αρνητικές τιμές είναι μια εκτόνωση της ανελαστικότητας στην οποία βρίσκεται η αγορά. Η μείωση των τιμών που προκύπτει μέσω του Merit Order Effect είναι θεμιτή για την πλευρά των καταναλωτών που διαπιστώνουν συγκριτικά μειωμένα οικιακά τιμολόγια. Για τους σχεδιαστές του μηχανισμού στήριξης των ΑΠΕ το αποτέλεσμα είναι δυτό, διότι από τη μια βιώνουν αυξημένη κριτική διότι αυξάνεται το χάσμα μεταξύ των σταθερών τιμών πληρωμής (FIT) και της οριακής τιμής του συστήματος, δημιουργώντας μεγαλύτερο όγκο πληρωμών για τη στήριξη των ΑΠΕ, ενώ από την άλλη, οι συγκριτικές μειώσεις των τιμολογίων λιανικής καθυστερούν την πλευρά ζήτησης και ιδίως του επιχειρηματικούς καταναλωτές που διαμαρτύρονται για τη μείωση της ανταγωνιστικότητας του λόγω των πληρωμών του μηχανισμού στήριξης.

Όμως, για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας η εξέλιξη αυτή είναι εξαιρετικά δυσάρεστη. Καταρχάς, μειώνεται η ανταγωνιστικότητα των συμβατικών παραγωγών διότι η μείωση των τιμών δίνει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στους αιολικούς παραγωγούς που πληρώνονται σε σταθερές τιμές εφόσον το επιλέξουν. Μεταξύ των συμβατικών παραγωγών σε πρώτη ανάγνωση φαίνεται να πλήγονται ιδιαίτερα οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με υψηλά οριακά κόστη. Πράγματι, αυτοί οι τύποι εργοστασίων είναι που πρώτα απωθούνται από την αγορά με τη διείδυση της αιολικής ενέργειας. Όμως, τα εργοστάσια αυτά επειδή όπως είδαμε και στα σχήματα 36, 37 χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή ελαστικότητα μπορούν υποχωρήσουν, να μειώσουν την παραγωγή ή ακόμα και να κλείσουν περιμένοντας ποτέ θα η ζήτηση θα αυξηθεί περαιτέρω ή αιολική παραγωγή θα μειωθεί ώστε να επανέλθουν στην αγορά και να κερδοφορήσουν. Άλλωστε, τα επενδυτικά κόστη τέτοιων τύπων εργοστασίων είναι χαμηλότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα των παραγωγών βάσης επομένως δεν απαιτείται τόσο υψηλός συντελεστής χρησιμοποίησης για την οικονομική βιωσιμότητα εκείνων των εργοστασίων. Αντίθετα, τα εργοστάσια με τεχνολογίες χαμηλού μεταβλητού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν έντονο πρόβλημα διότι μπορεί στις περισσότερες ωρες του χρόνου να παράγουν ως μονάδες βάσης που είναι όμως η οριακή τιμή του συστήματος βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα με αποτέλεσμα να μειώνεται το περιθώριο κέρδους μεταξύ των προσφορών που ισοδυναμούν με το μεταβλητό τους κόστος και της τελικής τιμής που τελικά πληρώνονται.

Μια ισοδύναμη προσέγγιση είναι ένα αντιληφθούμε πως τα εργοστάσια βάσης λόγω του Merit Order Effect βραχυπρόθεσμα ορίζουν περισσότερες ωρες τις τιμές σε σχέση με πριν και επομένως εφόσον η τιμή ισοδύναμη με το οριακό τους κόστος δεν δημιουργείται

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

περιθώριο κέρδους για περισσότερες ωρες σε σχέση με πριν. Το περιθώριο κέρδους ανάμεσα στις προσφορές των παραγωγών και στις οριακές τιμές του συστήματος είναι εξαιρετικά σημαντικό για τους παραγωγούς βάσης διότι τα μεταβλητά τους κόστη αποτελούν μικρό μέγεθος σε σχέση με τα σταθερά κόστη και τα κόστη απόσβεσης των επενδύσεων. Είναι αναγκαίο λοιπόν να υπάρχει περιθώριο κέρδους για να διασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων. Όταν λοιπόν δεν υπάρχει αυτό το περιθώριο ή εάν συρρικνώνεται, προφανώς δεν γίνεται προγραμματισμός για κατασκευή νέων εργοστασίων βάσης ενώ τα εργοστάσια που είναι αρκετά παλιά και έχουν αποσβέσει τα επιχειρηματικά κόστη αποσύρονται από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας σταδιακά.

Επιπροσθέτως, όπως είδαμε η αιολική εγκατεστημένη ισχύς αυξάνεται όμως το capacity credit που αντιστοιχεί στην συνολική αιολική εγκατεστημένη ισχύ είναι σχετικά μικρό. Η ανάλυση του Weigt, 2008 συνδυάζει ακριβώς αυτές τις δυο παραμέτρους, δηλαδή το capacity credit και το Merit Order Effect. Καταλήγει ότι η τιμή χονδρικής μειώνεται αισθητά ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλής ζήτησης, ενώ η μέση μείωση είναι περίπου 10 EURO/ MWh. Ακόμα, καταλήγει ότι η αυξανόμενη αιολική διείσδυση στο διάστημα 2006 έως 2008 δεν επέτρεψε υψηλό ποσοστό υποκατάστασης τεχνολογιών παραγωγής ορυκτών καυσίμων και γενικότερα συμβατικής παραγωγής. Με άλλα λόγια με κριτήριο την ασφάλεια της παραγωγής και του συστήματος, το ποσό της συμβατικής εγκατεστημένης ισχύος που υποκαταστάθηκε στο διάστημα 2006 έως 2008 ήταν πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής αιολικής ισχύος που εγκαταστάθηκε το ίδιο χρονικό διάστημα. Γενικά όταν υπάρχει μεγάλο ποσοστό αιολική εγκατεστημένης ισχύος επί της συνολικής παραγωγικής ικανότητας μια χώρας, μεγάλο μέρος της συνολικής παραγόμενης ενέργειας είναι αιολική ενέργεια για τις περισσότερες ώρες του χρόνου.

Όμως υπάρχει και η πιθανότητα όταν χρειαστεί να συνεισφέρει σε περιόδους υψηλής ζήτησης η αιολική παραγωγή, λόγω καιρικών συνθηκών αυτός ο όγκος να είναι μην είναι διαθέσιμος. Αυτές οι περιπτώσεις μπορεί να είναι ελάχιστες μόνο ορισμένες ώρες τον χρόνο. Όμως, για καμία ώρα το χρόνο δεν είναι επιτρεπτό να μην μπορεί η παραγωγή να καλύψει τη ζήτηση γιατί θα έτσι θα καταρρεύσει το σύστημα. Επομένως για λόγους ασφαλείας ακόμα και για ελάχιστες ώρες τον χρόνο που μπορεί να χρειαστεί είναι αναγκαία η συμβατική εγκατεστημένη ισχύς. Τον περισσότερο χρόνο βέβαια η αιολική παραγωγή βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα και εφόσον έχει προτεραιότητα η εγκατεστημένη δυναμικότητα που φάνηκε αναγκαία στις περιπτώσεις ανάγκης τώρα να βρίσκεται σε αναμονή. Είναι προφανές λοιπόν ότι η συμβατική εγκατεστημένη ισχύς πρέπει να μπορεί να αντέξει οικονομικά σε χαμηλούς συντελεστές χρησιμοποίησης. Τέτοιους συντελεστές μπορεί να αντέξουν μόνο τα εργοστάσια υψηλού μεταβλητού κόστους έτσι τελικά το όσο αυξάνεται η αιολική διείσδυση μεταμορφώνεται και το ενεργειακό μείγμα μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ανελαστικά εργοστάσια βάσης όπως είναι τα πυρηνικά και τα μεγάλα λιγνιτικά υποχωρούν σταδιακά μειώνοντας το ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος τους επί της συνολικής συμβατικής εγκατεστημένης ισχύος. Αντιθέτως, τα εργοστάσια που έχουν

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

μειωμένα σταθερά και επενδυτικά κόστη και υψηλή μεταβλητά κόστη αυξάνουν της διείσδυση τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποκτώντας μεγαλύτερο κομμάτι της ενεργειακής πίτας.

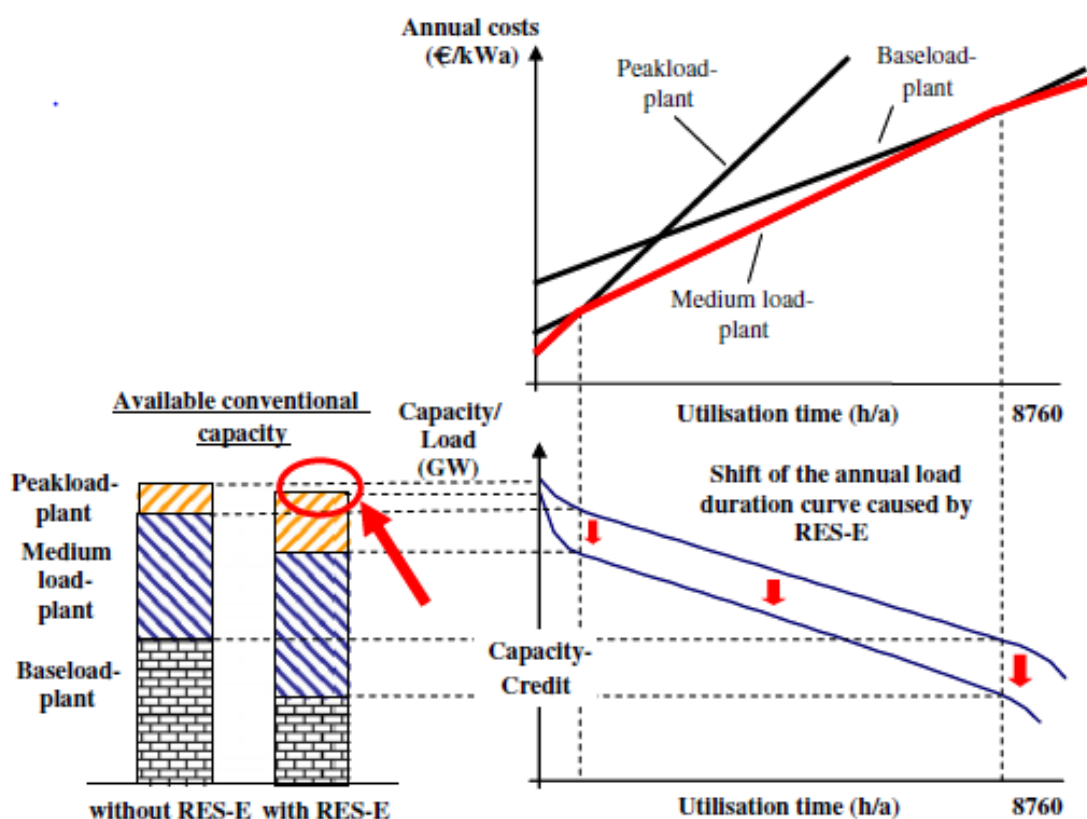
Το παρακάτω δυο σχήματα δείχνουν ακριβώς αυτή τη διαδικασία, δηλαδή πως η άμεση και η έμμεση επίδραση που έχει η διείσδυση αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επιδρά μακροπρόθεσμα στην δομή της και μεταλλάσσει τελικά το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και τους ενεργειακούς παίκτες που το απαρτίζουν.

8.3 Ανάλυση της Άμεσης Επίπτωσης στις Μακροχρόνιες Μεταβολές

8.3.1 Γραφική Ανάλυση & Θεωρητική Επεξήγηση

Στο Σχ.49 φαίνεται πως ακριβώς κάθε τεχνολογία έχει διαφορετική καμπύλη κόστους με αποτέλεσμα να είναι ανταγωνιστική μόνο σε ένα εύρος παραγωγής. Στις καμπύλες που σχεδιάζονται στο πάνω δεξιά κομμάτι το σημείο τομής με τον άξονα Υ είναι το σταθερό κόστος λειτουργίας του εργοστασίου ανεξάρτητα από το μέγεθος της παραγωγής ενώ η κλίση της ευθείας είναι το μέγεθος του μεταβλητού κόστους. Όσον αφορά τα εργοστάσια βάσης φαίνεται πως για να βρεθούν σε ανταγωνιστική θέση σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους παραγωγής και να αντισταθμίσουν τα υψηλότερα σταθερά κόστη που τα χαρακτηρίζουν πρέπει να λειτουργούν περισσότερες από ορισμένες ώρες τον χρόνο. Οι ώρες αυτές προς της συνολικές ωρες ουσιαστικά μας δείχνουν τον αναγκαίο συντελεστή χρησιμοποίησης που απαιτούν ώστε να είναι ανταγωνιστική η τεχνολογία. Στο ακριβώς από κάτω φαίνεται η ετήσια καμπύλη φορτίου που ορίζει και τις εγκατεστημένες ισχύς από κάθε τύπο παραγωγής. αναγκαίο συντελεστή χρησιμοποίησης που απαιτούν ώστε να είναι ανταγωνιστική η τεχνολογία. Είναι προφανές ότι η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων βάσης θα είναι ίση με ένα ποσό Χ ώστε η ζήτηση μέσα στο χρόνο να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το ποσό Χ τόσες ωρες όσες χρειάζεται η τεχνολογία των μονάδων βάσης για να έχει πετύχει τον συντελεστή χρησιμοποίησης που την καθιστά ανταγωνιστική

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχ.49 : Μεταβολή της ενεργειακής πίτας των συμβατικών παραγωγών μέσω της μεταβολής της καμπύλης φορτίου

8.3.2 Αριθμητικό Παράδειγμα

Ας θεωρήσουμε ως έναν παραγωγό όλους τους παραγωγούς που καλύπτουν το φορτίο βάσης. Έστω η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του παραγωγού αυτού ήταν 120 MW και ο συντελεστής χρησιμοποίησης της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί ήταν 7000 ώρες από τις 8760 ώρες συνολικά του χρόνου. Όμως έστω ότι η ζήτηση είναι περισσότερη από 100 MW για 7000 ώρες τον χρόνο και μεγαλύτερη από 120 MW για 6000 ώρες τον χρόνο. Άρα, τα 100 MW λειτουργούν τις 7000 το χρόνο και ένα ποσοστό από αυτά τις υπόλοιπες 1760 ώρες που η ζήτηση είναι μικρότερη από 100 MW. Τα 100 MW θα έχουν καλύψει τον συντελεστή χρησιμοποίησης που χρειάζονται και θα είναι πιο ανταγωνιστικά από τις άλλες πιθανές τεχνολογίες. Όμως τα 20MW της εγκατάστασης έστω ότι προσφέρουν σε τιμές μεταβλητού κόστους και στις 1000 ώρες μέσα σε αν έτος που η ζήτηση είναι από 100 MW εως 120 MW και εκτοπίζουν κάποια τεχνολογία υψηλότερου οριακού κόστους που δεν μπορεί να προσφέρει σε αντίστοιχα χαμηλές τιμές. Στο τέλος του χρόνο θα έχουν λειτουργήσει μόνο 1000 ώρες από τις 7000 ώρες που θα έπρεπε για να καλύψουν τα υψηλά σταθερά τους

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

κόστη. Είναι προφανές ότι μακροπρόθεσμα αυτή η στρατηγική δεν είναι οικονομικά βιώσιμη με αποτέλεσμα να μειώσει ο παραγωγός την εγκατάσταση του στα 100 MW.

Αυτό που συμβαίνει με την διείσδυση της αιολικής παραγωγής είναι το δυαδικό του φαινόμενο. Ουσιαστικά, μειώνει η αιολική ενέργεια την υπολογιζόμενη ζήτηση όπως φαίνεται στο κάτω δεξιά μέρος του σχήματος με την ετήσια καμπύλη φορτίου να βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Οι παραγωγοί βάσης συνολικά είχαν σωστά σχεδιάσει την εγκατεστημένη ισχύ τους σε επίπεδα όπου η ζήτηση θα είναι μεγαλύτερη από αυτά τόσες ώρες τον χρόνο με αποτέλεσμα να πετυχαίνουν συντελεστές χρησιμοποίησης που θα τους καθιστούν ανταγωνιστικούς. Όμως με την αιολική διείσδυση πρακτικά οι συντελεστές χρησιμοποίησης μειώνονται με αποτέλεσμα να πρέπει να μειώσουν την συνολική εγκατεστημένη ισχύ ώστε να ξαναβρεθούν σε βέλτιστα επίπεδα εγκατεστημένης ισχυρός που θα τους καθιστά ανταγωνιστικούς. Εντούτοις, το capacity credit είναι μικρό άρα αυτή η μείωση της συμβατικής εγκατεστημένης ισχυρός υποκαθίσταται από παραγωγούς υψηλότερης ελαστικότητας που λειτουργούν βέλτιστα με τέτοιους μικρούς συντελεστές χρησιμοποίησης καταλήγοντας στο κάτω αριστερά μέρος του σχήματος (Σχ.49).

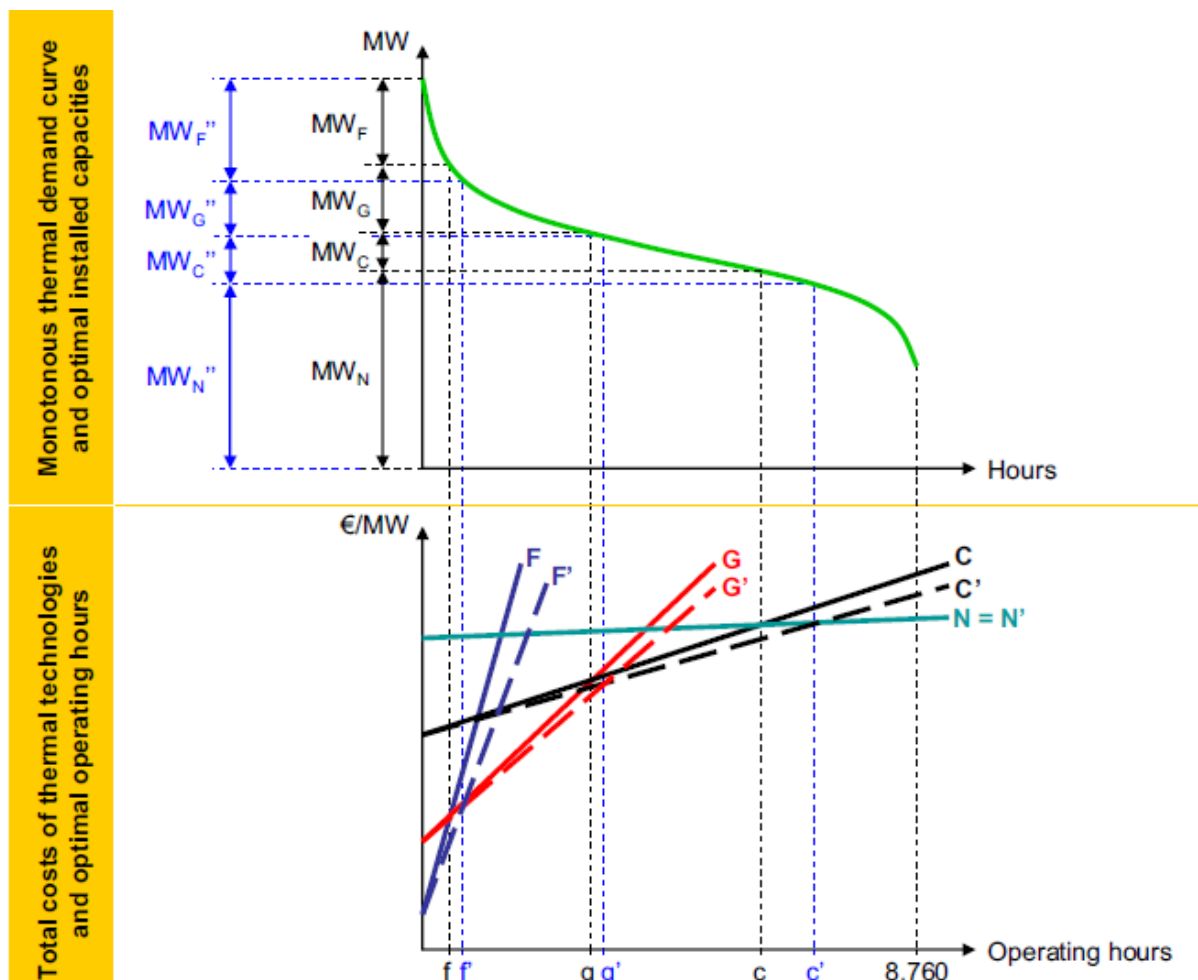
8.4 Ανάλυση της Έμμεσης Επίπτωσης στις Μακροχρόνιες Μεταβολές

8.4.1 Γραφική Ανάλυση & Θεωρητική Επεξήγηση

Μια ακόμα προσέγγιση που επίσης ευνοεί την ανταγωνιστικότητα των εργοστασίων ορυκτών καυσίμων υψηλού μεταβλητού κόστους είναι και η έμμεση επίπτωση που έχει η ενσωμάτωση αιολικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του μηχανισμού EU-ETS όπως περιεγράφηκε αναλυτικά σε προηγούμενο σκέλος της εργασίας. Είδαμε ότι η μείωση των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ ενσωματώνεται στην κοστολόγηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ιδιαίτερα για τους παραγωγούς με έντονες εκπομπές καυσαερίων. Έτσι, οι παραγωγοί ορυκτών καυσίμων που βρίσκονται στο πάνω μέρος της καμπύλης προσφοράς εισπράττουν μειωμένα μεταβλητά κόστη αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα τους. Όμως, οι μεταβολές στις καμπύλες συνολικού κόστους που πραγματοποιούνται αλλάζουν όπως είδαμε και τους συντελεστές χρησιμοποίησης κάθε τύπου εργοστασίου. Αλλάζοντας οι συντελεστές χρησιμοποίησης μακροπρόθεσμα μεταβάλλουν και τις μεγέθη εγκατεστημένης ισχυρός για κάθε τύπο παραγωγής. Δεδομένου ότι ευνοημένοι από τις μειώσεις των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ δεν είναι ολοι, παραδείγματος χάρη οι παραγωγοί πυρηνικής ενέργειας δεν έχουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυτό οδηγεί σε μεταβολές στο ενεργειακό μείγμα των

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

εγκατεστημένων δυναμικοτήτων κάθε τεχνολογίας (energy power plants portfolio). Η διαδικασία αυτή φαίνεται καλύτερα γραφικά στο Σχ.50.



Σχ.50 : Μεταβολή της ενεργειακής πίτας των συμβατικών παραγωγών μέσω της μεταβολής του οριακού κόστους κάθε τύπου συμβατικής παραγωγής

Οι μεταβολές που επιτελούνται μακροπρόθεσμα έχουν επιπτώσεις και στην μεταβλητότητα των τιμών. Όταν το ενεργειακό πορτοφόλιο μιας χώρας αλλάζει προς όφελος των ελαστικών εργοστασίων παραγωγής υψηλού οριακού κόστους, οι τιμές βρίσκονται σε ακραία επίπεδα πιο συχνά. Αυτό είναι μακροπρόθεσμη επίπτωση της αύξησης του ποσοστού διείσδυσης της αιολικής ενέργειας. Όταν η ζήτηση βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα οι τιμές πλέον είναι πολύ χαμηλές λόγω της ανελαστικότητας στην αγορά ενέργειας που προκύπτει, εφόσον ένα τέτοιο σενάριο δεν έχει προβλεφθεί έγκαιρα. Επίσης, η αιολική ενέργεια έχει σχεδόν μηδενικά μεταβλητά κόστη. Οπότε η καμπύλη προσφοράς αποκτάει μια πολύ βραδεία αύξηση στις τιμές της όταν η ζήτηση βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Αντιθέτως, όταν αυξάνεται η ζήτηση και εν γένει η ένταση του αέρα δεν επιτρέπει την εκμετάλλευση όλης

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, τα ελαστικά εργοστάσια θα πρέπει να καλύψουν αυτή την ζήτηση. Τότε οι τιμές αυξάνονται σε πολύ υψηλά επίπεδα καθώς αυξάνεται η θετική ανελαστικότητα του συστήματος.

Ολες αυτές οι μεταβολές που επιτελούνται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας τερπιλίζουν την ασφάλεια, την ευστάθεια και την αξιοπιστία του συστήματος. Η μείωση των τιμών χονδρικής μειώνει συνολικά τα περιθώρια κερδών των συμβατικών παραγωγών και συρρικνώνει τα πλεονάσματα της πλευράς του παραγωγού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα για το επίπεδο των τιμών δημιουργεί ένα μη θεμιτό επενδυτικό περιβάλλον. Έτσι, η κατασκευή νέων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο αβέβαιη εφόσον ο επιχειρηματικός κίνδυνος είναι αυξημένος, ενώ οι προσδοκίτες τιμές κέρδους των επενδύσεων είναι μειωμένες. Δημιουργείται έτσι ένα περιβάλλον οικονομικής αστάθειας όπου οι παίκτες της αγοράς πρέπει διαρκώς να αντισταθμίζουν τον επιχειρηματικό κίνδυνο (Hedging), ενώ παράλληλα δημιουργείται γόνιμο έδαφος για κερδοφορία καιροσκόπων επενδυτών που εκμεταλλεύονται την μεταβλητότητα των τιμών. Επίσης, γίνεται ορατός και ο κίνδυνος να φτάσει το σύστημα σε εξαιρετικά δυσάρεστα επίπεδα ανελαστικότητας με αποτέλεσμα να διακινδυνεύσει και η εκκαθάριση της αγοράς.

*Κεφάλαιο 9^ο: Προτεινόμενες
Κατευθύνσεις*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Οι λύσεις που προτείνονται στο σημείο αυτό θα πρέπει να χωριστούν σε δυο κατηγορίες:

→ Βραχυπρόθεσμες λύσεις

→ Μακροπρόθεσμες λύσεις

9.1 Βραχυπρόθεσμες Λύσεις

9.1.1 Θεσμικές Μεταβολές στον Μηχανισμό Στήριξης

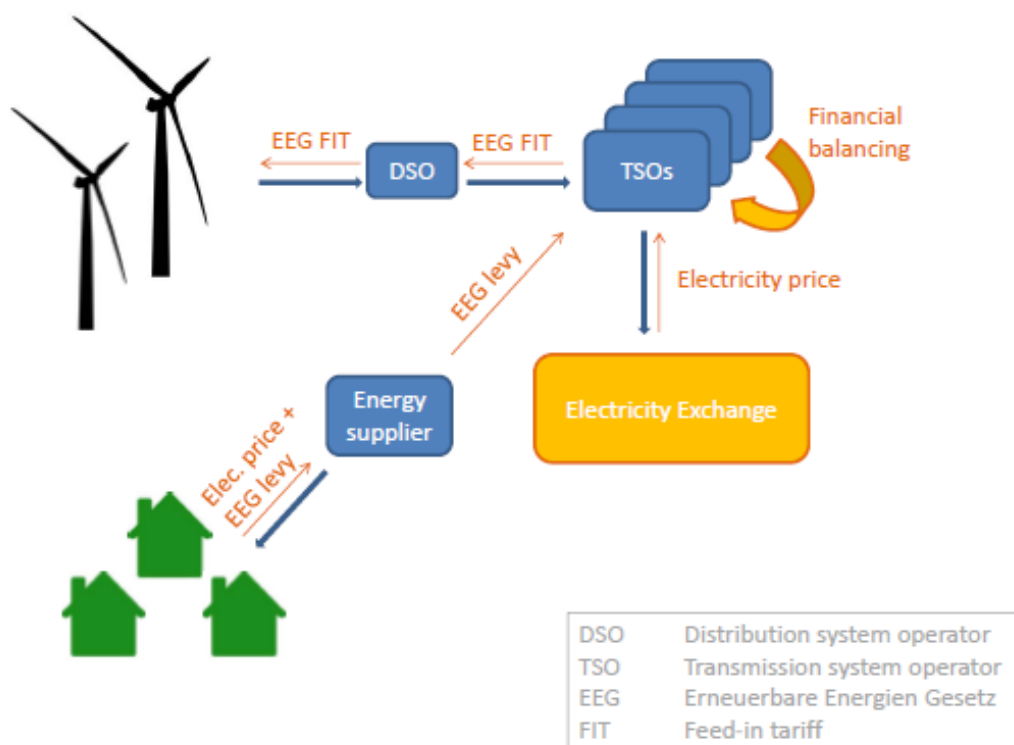
Καταρχάς ένα αποτελεσματικός τρόπος για να μειωθούν τα προβλήματα που δημιουργούνται στην ελαστικότητα του συστήματος και στην μεταβλητότητα των τιμών είναι η θεσμική αντιμετώπιση μέσω της μετατροπής των μηχανισμών στήριξης. Αυτό είναι ένα άμεσο μέτρο που μπορεί γρήγορα και εύκολα να μειώσει της οποίες δυσάρεστες επιπτώσεις. Για παράδειγμα, στη Γερμανία τον Ιανουάριο του 2010 έγινε αναθεώρηση του EEG, με το λεγόμενο *Ausgleichsmechanismusverordnung*. Αυτή η θεσμική παρέμβαση έγινε όπως είδαμε κατόπιν των ιδιαίτερα ανελαστικών καταστάσεων που δημιουργήθηκαν το 2008, 2009. Η αλλαγή όριζε ότι οι διαχειριστές του συστήματος έπρεπε πλέον να προβλέπουν την ανανεώσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μια μέρα πριν και να πωλούν το προβλεπόμενο ποσό στην ημερήσια αγορά. Έπειτα, επειδή το ποσό που θα προέκυπτε συνήθως δεν θα επαρκούσε για να χρηματοδοτήσει του ανανεώσιμους παραγωγούς σύμφωνα με τις σταθερές τιμές πληρωμών, η διαφορά θα καλύπτονταν από το τέλος ΑΠΕ που θα πλήρωναν οι τελικοί καταναλωτές. Το τέλος ΑΠΕ καλύπτει προφανώς την διαφορά με τις σταθερές τιμές πληρωμών αλλά επίσης και τα κόστη προβλέψεων, κόστη marketing των ΑΠΕ κτλ. Ο προηγούμενος μηχανισμός ήταν πιο περίπλοκος. Οι διαχειριστές του συστήματος (TSOs) έπρεπε να προβλέψουν την ανανεώσιμη παραγωγή ένα μήνα πριν. Έτσι, οι διαχειριστές του συστήματος συμφωνούσαν με τους αγοραστές χονδρικής το πρόγραμμα φυσικής παράδοσης αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μέρα του μήνα. Όπως είναι φυσιολογικό οι προβλέψεις είχαν μεγάλες αποκλίσεις. Όταν οι αιολική ενέργεια ήταν λιγότερη από την προβλεπόμενη η διαφορά θα αγοράζοντας στην ημερήσια ή ενδοημερησια αγορά ενέργειας. Αντιστοίχως, άμα ήταν περισσότερη θα πωλούνταν και πάλι σε αυτές τις αγορές το πλεόνασμα. Είναι λογικό πως όσο μεγαλύτερο ήταν το σφάλμα πρόβλεψης τόσο μεγαλύτερα ποσά διακινούνταν αναπάντεχα στην ημερήσια και ενδοημερησια αγορά οδηγώντας σε μεγαλύτερες μεταβολές της τιμής του χρηματιστηρίου. Αυτή η διαδικασία της αντιστάθμισης συνεπάγεται και μεγάλο κόστος. Το 2008 για όλους του TSOs της Γερμανίας το συνολικό κόστος έφτασε τα 595 εκατομμύρια Ευρώ (Bundesnetzagentur 2012). Μετα από την ρύθμιση του μηχανισμού τα σφάλματα

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

πρόβλεψης μειώθηκαν αισθητά. Έτσι, τα αντίστοιχα κόστη για το 2010 μειώθηκαν στα 127 εκατομμύρια Ευρώ.

Επίσης, πριν την ρύθμιση του μηχανισμού, τα κόστη των παρεμβάσεων για την εξισορρόπηση του συστήματος κοστολογούνταν κόστη του συστήματος μεταφοράς των διαχειριστών, πλέον υπάγονται στο τέλος των ΑΠΕ, αυξάνοντας τη διαφάνεια για το συνολικό κόστος του μηχανισμού στήριξη.

Τέλος, το γεγονός ότι πλέον η αιολική ενέργεια εμπορεύεται στην ημερήσια αγορά αυξάνει την ρευστότητα της ημερήσιας αγοράς με αποτέλεσμα να μειώνεται και η μεταβλητότητα των τιμών. Πέραν από τη μείωση στο κόστος για τους τελικούς καταναλωτές και την μείωση της μεταβλητότητας των τιμών, η αυξημένη διαφάνεια οδηγεί και σε ένα ασφαλέστερο επενδυτικό περιβάλλον στοχεύοντας το πρόβλημα που προαναφέραμε. Στο Σχ.51 παρακάτω φαίνεται ο μηχανισμός του συστήματος μετά τις θεσμικές αλλαγές του 2010. Τα μπλε βέλη δείχνουν τη ροή της ανανεώσιμης ενέργειας ενώ τα πορτοκαλιά τις χρηματοροές.



Σχ.51 : Μηχανισμός διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματοροών

Ακόμα, όσον αφορά τα επίπεδα τιμών και τις ανελαστικές καταστάσεις που δημιουργούνται επίσης υπάρχουν θεσμικές αλλαγές που βραχυπρόθεσμα μπορούν όχι να λύσουν αλλά να ανακουφίσουν το φαινόμενο. Στη Γερμανία, στις 22 Φεβρουάριου του 2010 έγινε μια

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ρύθμιση του μηχανισμού που προέβλεπε πως εάν περισσότερο από το 60% της εγκατεστημένης αιολικής δυναμικότητας χρησιμοποιείται και παράλληλα το συνολικό εθνικό φορτίο είναι μικρότερο από το 60% του μέγιστου φορτίου του 2009, οι διαχειριστές του συστήματος μπορούν να τοποθετήσουν περιορισμένες προσφορές αιολικής παραγωγής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και όχι ολοι την εν δύναμη παραγωγή αιολικής ενέργειας. Το πόσες, ποιες προσφορές και σε τι τιμές θα τοποθετούνται αυτές οι προσφορές πρέπει να είναι τυχαίο ώστε να μην μπορούν να μαντέψουν οι παίκτες τις αγορές ποτέ θα τοποθετηθούν ώστε να προβλέψουν πως θα μεταβληθεί η τιμή. Παράλληλα, οι διαχειριστές του συστήματος έρχονται σε συνεννόηση με τους λειτουργούς των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας ώστε να μειώσουν ή και να διακόψουν την παραγωγή τους.

Ωστόσο, αυτή είναι μια κοντόφθαλμη προσέγγιση που σίγουρα δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα, απλά παροδικά να το εξομαλύνει. Μια άμεση θεσμική αλλαγή που μπορεί να αποσβέσει σε κάποιο βαθμό το πρόβλημα της αρνητικής ελαστικότητας που δημιουργείται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με την αυξημένη αιολική διείσδυση είναι η παρακάτω. Μια τρίτη επιλογή που να επιτρέπει την απευθείας πώληση της αιολικής παραγωγής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας δίχως τη διαμεσολάβηση του διαχειριστή του συστήματος. Μια προσπάθεια έχει ξεκινήσει από το 2012 (βλέπε πίνακα 8) και ονομάζεται Directvermarktung. Μόλις η επιλογή αυτή παγιωθεί και γίνει πλήρως ανταγωνιστική σε σχέση με τις σταθερές τιμές πληρωμών, τότε το μέγεθος του premium που θα δίνεται για αυτή την επιλογή θα πρέπει να είναι η περισσότερο αρνητική τιμή που δημιουργούνταν στο σύστημα. Αυτό προκύπτει γιατί οριακά όταν η τιμή φτάνει σε τέτοια αρνητικά επίπεδα οι ίδιοι οι αιολικοί παραγωγοί που πλέον θα είναι ανταγωνιστικοί παίκτες τους συστήματος μέσω του bonus, θα επιλέγουν να περικόψουν την παραγωγή του ώστε να επιστρέψει η τιμή σε κερδοφόρα επίπεδα. Έτσι θα μπορούσε να αποτραπεί η ακραία ανελαστικότητα του συστήματος που θα δυναμίτιζε ενδεχομένως την ασφάλεια της παραγωγής.

Τέλος, μια θεσμική αλλαγή στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας παρεμφερής με τον μηχανισμό διαχείρισης της εφεδρείας είναι η όσο τον δυνατόν κοντινότερη διασύνδεση των γειτονικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται καταρχάς με την χρησιμοποίηση έμμεσου όχι αμέσου μηχανισμού δημοπράτησης των δικαιωμάτων χρήσης των διασυνδέσεων (implicit auction vs explicit auction).

Επίσης μπορεί να γίνει μέσω τη σύναψης καινούργιων συμφωνιών για διασύνδεση με νέες γειτονικές αγορές. Πρέπει ακόμα να γίνει σχεδιασμός για την ανάπτυξη των υπάρχουσων διασυνδέσεων. Μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς διασύνδεσης θα βοηθούσε σημαντικά και στα δυο μέτωπα, στην ανελαστικότητα του συστήματος και στην υψηλή μεταβλητότητα των τιμών, που δημιουργούνται με την αυξημένη αιολική διείσδυση. Θα βοηθούσε σημαντικά, πρώτων διότι διασυνδέοντας τα συστήματα ουσιαστικά αμβλύνεται η στοχαστικότητα της αιολικής παραγωγής. Όσο πιο μεγάλες γεωγραφικά περιοχές είναι διασυνδεμένες, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα συνολικά σε ολο το γεωγραφικό εύρος οι μετεωρολογικές συνθήκες να ταυτίζονται δημιουργώντας ακραία υψηλά ή χαμηλά

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

επίπεδα αιολικής παραγωγής. Έτσι, η μεταβλητότητα των τιμών μειώνεται καθώς μειώνεται η στοχαστικότητα της αιολικής παραγωγής. Επίσης, οι ανελαστικές καταστάσεις των συστημάτων ανακουφίζονται καθώς οι διασυνδέσεις μεταξύ των αγορών επιτρέπουν τη σύγκλιση των τιμών μεταξύ των αγορών εξαλείφοντας τη θετική ανελαστικότητα που ενδεχομένως υπάρχει σε μια αγορά και την αρνητική ανελαστικότητα μιας άλλης, ισορροπώντας τις σε θεμιτά επίπεδα ελαστικότητας

9.1.2 Θεσμικές Μεταβολές στη Λειτουργία της Αγοράς Ενέργειας

Επίσης, στην προσπάθεια για μείωση των σφαλμάτων πρόβλεψης που οδηγούν όπως είδαμε σε αυξημένη μεταβλητότητα τιμών μια θεσμική λύση θα ήταν να κλείνουν πιο μετα οι θύρες της ημερήσιας αγοράς (day-ahead market). Εάν έκλειναν οι συναλλαγές πιο μετα δηλαδή με τις 12:00 θα υπήρχε μικρότερο ορίζοντας πρόβλεψης για την αιολική ενέργεια ανάμεσα στις συναλλαγές και την φυσική παράδοση με αποτέλεσμα να μειώνεται και το αντίστοιχο σφάλμα. Μια ακόμα θεσμική αλλαγή που θα οδηγούσε σε καλύτερα, αποδοτικότερα αποτέλεσμα είναι η προσφορά μικρότερων πακέτων διάρκειας συναλλαγών. Από τον Δεκέμβριο του 2011, στη Γερμανία υπάρχει η δυνατότητα στην ενδοημερησια αγορά να πωλούνται 15 λεπτά πακέτα και όχι μόνο ωριαία. Εάν κάτι τέτοιο εφαρμόζονταν για την ημερήσια αγορά θα αυξάνονταν οι ελαστικότητα του συστήματος καθώς οι συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσαν να προσαρμόσουν καλύτερα το πλάνο συμβατικής παραγωγής τους σε σχέση με τις διακυμάνσεις της αιολικής και γενικότερα της ανανεώσιμης ενέργειας.

Μια άλλη θεσμική αλλαγή που θα μπορούσε να γίνει όχι στο μηχανισμό στήριξης των ΑΠΕ αλλά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι να ενσωματωθούν καλύτερα οι δημοπρασίες για τις συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως η παροχή εφεδρείας με τις δημοπρασίες της ηλεκτρικής ενέργειας που στο χρηματιστήριο ενέργειας. Όσο πιο κοντινό συσχετισμό έχουν οι δημοπρασίες τόσο πιο αποδοτικά αξιοποιείται το συμβατικό παραγωγικό δυναμικό του εκάστοτε συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας βελτιστοποιώντας τον βαθμό ελαστικότητας του συστήματος. Για παράδειγμα η τριτεύουσα εφεδρεία θα έπρεπε να δημοπρατείται ημερησίως και όχι μόνο τις εργάσιμες ημέρες. Ο ορίζοντας πρόγνωσης μεταξύ Παρασκευής και Δευτέρας είναι αρκετά μεγάλος με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υψηλές αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές. Επίσης, πολλές ανελαστικές καταστάσεις συμβαίνουν το Σάββατο και την Κυριακή όπου η ζήτηση είναι μειωμένη επομένως αυτή είναι μια επιτακτική αλλαγή.

9.2 Μακροπρόθεσμες Λύσεις

Στις μακροπρόθεσμες λύσεις υπάγονται αυτές που απαιτούν την ριζική μεταβολή της δομής του ηλεκτρικού συστήματος. Μερικές από αυτές και αναλύονται περαιτέρω παρακάτω:

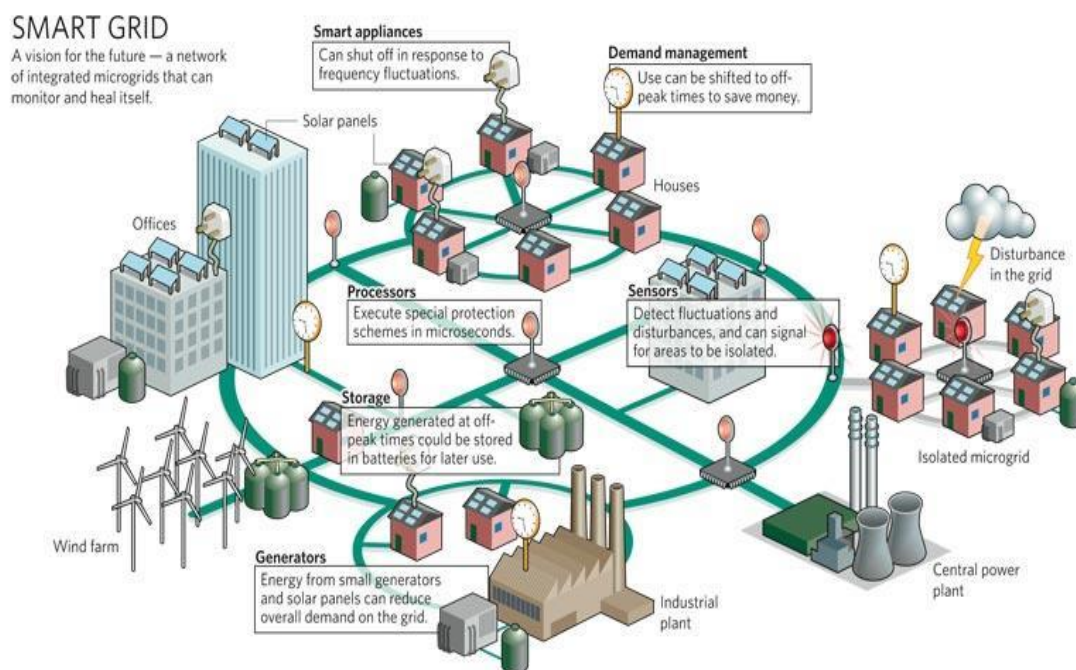
- Αύξηση της ελαστικότητας της πλευράς ζήτησης
- Νέες δυνατότητες για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας
- Γεωγραφικό διασκορπισμός της αιολικής παραγωγής
- Μετατροπή του ενεργειακού παραγωγικού δυναμικού της χώρας
- Ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για την αποφυγή σημείων συμφόρησης (bottlenecks)

9.2.1 Ελαστικότητα Ζήτησης μέσω των Smart Grids

Η πρώτη λύση που προτείνεται βρίσκεται ακόμα στα πρώτα στάδια της τεχνολογικής υλοποίησης. Τα λεγόμενα smart-grids είναι δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που επιτρέπουν την μεταβολή της κατανάλωσης σε σχέση με τις μεταβολές που επιτελούνται στις τιμές. Έτσι, με την αύξηση της ελαστικότητας της πλευράς ζήτησης θα μπορούσε η καμπύλη φορτίου να μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να καλύπτει καλύτερα της ανάγκες ελαστικότητας του συστήματος. Ειδικά σε βιομηχανίες όπου οι περισσότερες διαδικασίες αφενός είναι αυτοματοποιημένες, αφετέρου υπάρχει έντονη ενεργειακή κατανάλωση υπάρχει η δυνατότητα για προσαρμογή της κατανάλωσης μέσω των smart-grids ώστε να εξυπηρετούνται τα συμφέροντα όλων των συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, είναι γεγονός ότι η καμπύλη φορτίου έχει την κορυφή της συνήθως το μεσημέρι, ενώ η αιολική ενέργεια έχει καμπύλη παραγωγής που συνήθως, παρά την στοχαστικότητα που τη διακρίνει, έχει την κορυφή της το βράδυ. Εάν μέσω των smart-grids υπήρχε η δυνατότητα να μεταφέρονται οι ενεργοβόρες διαδικασίες και διεργασίες σε εκείνες τις ώρες που υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας, αυτό θα ήταν συμφέρον για τους καταναλωτές διότι θα πλήρωναν μικρότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για τους παραγωγούς διότι σε εκείνες τις καταστάσεις, έτσι εξωραΐζεται η ανελαστικότητα του συστήματος που οδηγεί στις χαμηλές τιμές. Η ελαστικότητα της ζήτησης αυξάνεται όχι μόνο με την αυτοματοποίηση των διεργασιών αλλά μέσω και της οικιακής αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, εμμέσως επιτελείται η ίδια λειτουργία δηλαδή αμβλύνεται

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

το χάσμα μεταξύ της ανάγκης για ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και της δυνατότητας για προσφορά. Στο Σχ.52 απεικονίζεται ο τρόπος που λειτουργούν τα smart-grids.



Σχ.52 : Απεικόνιση της λειτουργίας των Smart Grids

9.2.2 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Επίσης αναγκαία αλλά συνθήκη για να επιτευχθούν ακόμα υψηλότεροι βαθμοί διείσδυσης της αιολικής ενέργειας και γενικότερα οποιασδήποτε μορφής διακοπτόμενης ενέργειας είναι να δημιουργηθούν δυνατότητες και μέθοδοι για την ευρείας κλίμακας αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από φυσικά φαινόμενα (π.χ. αιολική και ηλιακή ένταση) υπάρχει ενδεχόμενο, αρκετές φορές η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να μη συμπίπτει χρονικά με τη ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και η μετέπειτα χρήση της σε διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση, θα βοηθούσε ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας αφού πλέον σχεδόν εκμηδενίζεται η πιθανότητα να μην υπάρχει ενέργεια τη στιγμή που θα ζητηθεί και έτσι επιτρέπεται η δημιουργία περισσότερο μακροπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης. Η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου λοιπόν δίνει στις ΑΠΕ την αξιοπιστία

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

ενός συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες ντίζελ) και ανοίγει το δρόμο για τη δημιουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας που βασίζονται αποκλειστικά και μόνο σε ανανεώσιμες πηγές.

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιούνται οι ΑΠΕ χρειάζεται και μία αποθηκευτική διάταξη με κατάλληλες ιδιότητες. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιο αποθηκευτικό μέσο είναι κατάλληλο για κάθε περίπτωση εφαρμογής χρειάζεται να εξεταστεί μια ευρεία γκάμα αποθηκευτικών διατάξεων.

Ιδιαίτερη είναι λοιπόν, η χρησιμότητα των ανανεώσιμων πηγών στα συστήματα τροφοδοσίας ενέργειας. Στα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποθηκευτικά μέσα βραχείας ή μακράς διάρκειας αποθήκευσης, ανάλογα με τη χρήση του συστήματος και τις ιδιότητες του αποθηκευτικού μέσου. Ανάλογα με το μέγεθος του αποθηκευτικού μέσου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις για σχετικά μικρής διάρκειας αποθήκευση, π.χ. μία μέρα ή βδομάδα, ή για μεγάλης διάρκειας που είναι ικανές να τροφοδοτήσουν με ενέργεια κατά τη διάρκεια σχεδόν όλου του χειμώνα, για παράδειγμα σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, χωρίς να υπάρχει υποστήριξη συμβατικών γεννητριών. Σαν αποθηκευτικές διατάξεις βραχείας διάρκειας χρησιμοποιούνται κυρίως μπαταρίες μολυβδου λόγω του χαμηλού τους κόστους σε σχέση με τα άλλα μέσα, ενώ για μεγάλη διάρκεια ενδείκνυνται κυρίως αποθηκευτές υδρογόνου. Με τη βοήθεια του αποθηκευτικού μέσου λοιπόν, μπορούν να υπάρξουν εγκαταστάσεις αμιγώς ανανεώσιμων πηγών (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια) χωρίς την εφεδρεία συμβατικής γεννήτριας.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή της αποθηκευτικής διάταξης είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες πρόκειται να εκτεθεί η διάταξη. Έτσι ανάλογα με την περίπτωση και τις εγκαταστάσεις μπορεί να επιλεγεί διάταξη που μπορεί να εκτεθεί σε θερμοκρασίες από -10 ως 45°C , δηλαδή πρακτικά να τοποθετηθεί σε εξωτερικούς χώρους σχεδόν χωρίς καμία προστασία, διάταξη που πρέπει να τοποθετηθεί μέσα σε κτίριο (5 ως 20°C) ή διάταξη που χρειάζεται να τοποθετηθεί σε μονωμένους χώρους ή χώρους με ενεργό έλεγχο θερμοκρασίας ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στους 15 ως 25°C .

Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι αν οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν ένα μικρό μέρος από τη ζήτηση σε ενέργεια, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να μην είναι απαραίτητη καθώς η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από τα άλλα στοιχεία (π.χ. γεννήτριες ντίζελ). Ωστόσο όμως όσο αυξάνει η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στην εξυπηρέτηση του ζητούμενου φορτίου, γεγονός που είναι αναμενόμενο για τα επόμενα χρόνια, τόσο γίνεται απαραίτητη η διάταξη αποθήκευσης. Αυτό γίνεται εμφανές σε εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επειδή τη νύχτα δεν υπάρχει ηλιοφάνεια είναι πιθανό η ζήτηση σε φορτίο να αυξηθεί νωρίς το απόγευμα, γιατί οι καταναλωτές θα προνοήσουν για τη νύχτα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία αιχμή στο φορτίο εκείνη την ώρα, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί από συμβατικές πηγές. Η εγκατάσταση ενός αποθηκευτικού συστήματος θα βοηθούσε να εξομαλυνθούν αυτές οι κορυφές στη ζήτηση ενέργειας και να δημιουργηθεί

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

στο βαθμό που είναι εφικτό ένα σταθερό φορτίο βάσης. Επίσης η αποθήκευση βοηθάει στο να εξισορροπηθεί η υψηλή παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά το καλοκαίρι με τη χαμηλή κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπως προαναφέρθηκε.

Πολλά υποσχόμενη είναι επίσης η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου σε εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών για την τροφοδοσία απομακρυσμένων περιοχών. Το κόστος δημιουργίας μίας γραμμής μεταφοράς προκείμενου να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον πλησιέστερο υποσταθμό και το κόστος παραγωγής αυτής της ενέργειας με συμβατικούς τρόπους (π.χ. το κόστος του καυσίμου της συμβατικής γεννήτριας) είναι ασύγκριτα μεγαλύτερο, από ότι η τροφοδοσία ενέργειας από ΑΠΕ με τη συνεισφορά κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης.

Τέλος οι αποθηκευτικές διατάξεις βοηθούν στο να ξεπεραστεί το γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμη. Έτσι είναι δυνατή η διαχείριση ενέργειας και ισχύος. Ένα μέρος από την παραγόμενη ενέργεια των ΑΠΕ καταναλώνεται αμέσως ώστε να αντικαταστήσει συμβατικές πηγές και το υπόλοιπο πρέπει να αποθηκεύεται για μετέπειτα χρήση. Ειδικότερα:

Η απευθείας αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εφικτή. Απαιτείται να μετατραπεί πρώτα σε μια άλλη μορφή ενέργειας. Έτσι για παράδειγμα, μπορεί να αποθηκευτεί ως:

- χημική ενέργεια (μπαταρίες),
- μηχανική (στρεφόμενες μάζες),
- σε ηλεκτρικό πεδίο (πυκνωτές) ή σε μαγνητικό πεδίο (μαγνητικοί υπεραγωγοί),
- με συμπιεσμένο αέρα και στη συνέχεια να ξαναμετατραπεί στην αρχική της μορφή όταν θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί.

Γενικά οι περισσότερες μορφές ενέργειας προκειμένου να αποθηκευτούν χρειάζεται να μετατραπούν σε μία άλλη 'ενδιάμεση' μορφή. Ένα σπάνιο παράδειγμα μορφής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί άμεσα είναι η θερμότητα. Μπορεί π.χ. να φυλαχτεί στο σκελετό κατάλληλα σχεδιασμένων κτηρίων, στο νερό (όπως στους ηλιακούς-θερμικούς συλλέκτες), ή σε καυτά πετρώματα και βράχους (γεωθερμικός).

Τα απολιθωμένα καύσιμα αντιπροσωπεύουν ένα φυσικό παράδειγμα αποθήκευσης χημικής ενέργειας. Ωστόσο από όταν ο ηλεκτρισμός καθιερώθηκε καθολικά ως μέσο που μπορεί να μεταφέρει ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις το ενδιαφέρον για την αποθήκευση ενέργειας εστιασθηκε στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

9.2.2.1 Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας- Μπαταρίες

9.2.2.1.1 Μπαταρίες Μόλυβδου- Οξέος

Οι μπαταρίες αυτές είναι οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Για το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης που ακόμη δεν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, η μπαταρία (ηλεκτροχημικό κύτταρο ή συσσωρευτής) παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Οι αμέτρητοι ιδιοκτήτες εξοπλισμού γεννητριών ντίζελ και οι αγρότες στηρίζονται στις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου – οξέος με το χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, τη γρήγορη απόκριση και τα ευέλικτα ποσά τροφοδοσίας ισχύς. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής των μπαταριών αυτών (ειδικά σε συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης), δεν αποτελεί πρόβλημα λόγω του χαμηλού κόστους τους.

Ωστόσο τα συστήματα μολύβδου – οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Μια από τις βελτιώσεις είναι η χρήση ηλεκτρολυτών σε μορφή gel, αντί για υγρούς, είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν, και να είναι ανθεκτικές σε κλονισμούς και κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα, μπαταρίες μολύβδου – οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτόμες τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης. Η τεχνολογία μολύβδου – οξέος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία κλίμακα. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για τη διαχείριση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας σε συστήματα ισχύος π.χ. συστήματα αγροκτημάτων. Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές αιολικής ενέργειας, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100MW ή περισσότερο, σε μπαταρίες. Αυτό θα βοηθούσε όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο να αποθηκεύεται η αιολική ενέργεια για τα διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση και θα καθιστούσε περιττή την αποκοπή αιολικής ενέργειας όταν δεν υπάρχει ζήτηση.

9.2.2.1.2 Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου

Η αποθήκευση σε διατάξεις νικελίου-καδμίου αποδίδει επίσης σε μεγάλο βαθμό. Μια καινούρια εγκατάσταση στην Αλάσκα πρόκειται να παρέχει 40MW ισχύος, χρησιμοποιώντας 13760 κύτταρα νικελίου – καδμίου από τη SAFT Batteries. Η εγκατάσταση δεν έχει λειτουργήσει ακόμη αλλά οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί για το βαθμό αποθήκευσης που μπορεί να επιτευχθεί.

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου παρόλο που είναι ακριβότερες από τις μολύβδου – οξέος, έχουν διπλάσιο χρόνο ζωής και επειδή δεν απαιτείται παρακολούθηση κατά τη λειτουργία τους μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και στην κυριολεξία να ξεχαστούν. Στα μειονεκτήματά τους εκτός από το κόστος ανήκουν και η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών σκουπιδιών (ύστερα από τη χρήση της μπαταρίας) καθώς και η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου στον πλανήτη.

9.2.2.1.3 Μπαταρίες Λιθίου-Ιόντος

Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kWh/m³ λιθίου), σχεδόν 100% αποτελεσματικότητα και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι μπαταρίες που βασίζονται σε αυτό μπορούν να είναι κατά πολύ ελαφρύτερες από τις συνηθισμένες. Γι' αυτό το λόγο και λόγω της μεγάλης αποτελεσματικότητάς τους, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές

9.2.2.1.4 Μπαταρίες Μετάλλου-Αέρα

Το γεγονός ότι είναι οι φθηνότερες μπαταρίες, σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητά τους εξηγεί γιατί τις παράγουν πολλές γνωστές εταιρείες. Ως άνοδος χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα μέταλλα π.χ. αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή πολυμερή ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη π.χ. από κάλιο, και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξειδωσης. Αυτά καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες μετάλλου – αέρα είναι δομικά ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον. Αλλά ενώ η υψηλή ενέργεια, η ελεγχόμενη εκφόρτιση και το χαμηλό κόστος θα μπορούσαν να τις καθιστούν κατάλληλες για πολλές εφαρμογές, η μόνη γνωστή και κατάλληλη επαναφορτιζόμενη συσκευή είναι ένα σύστημα ψευδαργύρου – αέρος. Το σύστημα αυτό έχει πολύ μικρό κύκλο ζωής και αποτελεσματικότητα φόρτισης/εκφόρτισης μόνο 50% περίπου. Μερικοί κατασκευαστές ξεπερνούν τη δυσκολία επαναφόρτισης προσφέροντας συσκευές που είναι δυνατό να ανεφοδιαστούν έτσι ώστε να αντικατασταθεί το μέταλλο που καταναλώθηκε. Αυτή η λύση όμως έχει συνέπειες στον κύκλο ζωής, το κόστος και την ευκολία χρήσης.

9.2.2.2 Εναλλακτικές Αποθηκευτικές Διατάξεις

9.2.2.2.1 Στρεφόμενες Μάζες

Μια εναλλακτική λύση στην ηλεκτροχημική αποθήκευση είναι να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική και να αποθηκευτεί σε μια περιστρεφόμενη μάζα. Αρχές όπως η Federal Transit Administration στις Ηνωμένες Πολιτείες βλέπουν ότι τα συστήματα στρεφόμενων τροχών έχουν δυνατότητες στα υβριδικά - ηλεκτρικά λεωφορεία, όπου θα ήταν ελαφρύτερα από τα ισοδύναμα πακέτα μπαταριών. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως και 80-90%, έναντι στο 65-75% των μπαταριών. Η ενέργεια που αποθηκεύεται με την περιστροφή μίας στρεφόμενης μάζας σε υψηλή ταχύτητα μπορεί να

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

μετατραπεί ξανά ηλεκτρική ισχύ με τη σύνδεση της μάζας σε μια γεννήτρια. Το ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στη στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας του στροφέα και ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας του στροφέα (σύμφωνα με την εξίσωση $k = (mv^2)/2$ όπου k = κινητική ενέργεια, m = μάζα και v = ταχύτητα). Γι' αυτό το λόγο αν θέλουμε αυξηθεί η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί είναι αποτελεσματικότερο να αυξηθεί η ταχύτητα παρά η μάζα. Αυξάνεται ταχύτερα όσο αυξάνεται η περιστροφική ταχύτητα σε σχέση με την αύξηση της μάζας της ρόδας. Για αυτό τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών η έμφαση έχει μετατοπιστεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40000rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60000rpm προβλέπονται για τις μελλοντικές γενεές. Κυλινδρικοί στροφείς, φτιαγμένοι από υψηλής απόδοσης γυαλί και άνθρακα ενισχυμένοι με πλαστικά υλικά για μεγαλύτερη αντίσταση στις υψηλές φυγοκεντρικές δυνάμεις, θα περιστρέφονται στον αέρα.

Οι στρεφόμενες μάζες καθώς παρέχουν μια υψηλής ενέργειας ώθηση, εκφορτίζονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα αν είναι απαραίτητο. Έτσι προτιμούνται όλο και περισσότερο για εκτεταμένες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών καθώς και για την ικανοποίηση της ζήτησης ενέργειας σε ώρες αιχμής όπου απαιτείται άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

Μαγνητικά αιωρούμενοι σύνθετοι στροφείς με ταχύτητες 60.000rpm θα παρείχαν χρόνο πλήρους εκφόρτισης ως και 15 λεπτά. Πιστεύεται ότι οι στρεφόμενες μάζες θα μπορούσαν να συμπληρώσουν τις μπαταρίες στα συστήματα ισχύος ανανεώσιμων πηγών. Οι στρεφόμενες μάζες θα μπορούσαν να εξισορροπήσουν τις απότομες και γρήγορες μεταβολές στο φορτίο. Οι μεταβολές αυτού του είδους θα έφθειραν γρήγορα τις μπαταρίες λόγω των περιορισμένων κύκλων ζωής που έχουν. Αντίθετα οι ηλεκτροχημικές μονάδες θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τις πιο αργές μεταβολές.

Έρευνες γίνονται για τη μείωση του κόστους των στρεφόμενων μαζών. Ωστόσο ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους που φτάνει τα 15 – 20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες), καθώς και η ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση που απαιτείται, αντισταθμίζουν το μέχρι τώρα υψηλό κόστος.

9.2.2.2 Υπέρ-Πυκνωτής

Μια εναλλακτική λύση για την εξυπηρέτηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών του φορτίου είναι ο υπέρ - πυκνωτής.

Οι μονάδες υπέρ - πυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξομαλύνουν τις 'βυθίσεις' που παρατηρούνται στην παραγωγή του ανεμοκινητήρα καθώς τα πτερύγια περνούν από τον πύργο που τον στηρίζει, οπότε η ροή αέρα διαταράσσεται και μειώνεται με αποτέλεσμα να εμφανίζονται βυθίσεις στην παραγωγή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό απαιτείται επαναλαμβανόμενη παροχή ενέργειας και ταχύτατη απόκριση με

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

σύντομους υψηλής συχνότητας παλμούς. Οι υπέρ – πυκνωτές είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατό να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου ως και μέσα σε ένα λεπτό. Ειδικοί (π.χ. SAFT, ELIT) αναφέρουν ότι αναπτύσσουν μονάδες υπέρ – πυκνωτών βασισμένες σε προηγμένους οργανικούς ηλεκτρολύτες που θα είναι ικανές να παρέχουν ενεργειακές πυκνότητες των 25kW/ m³

9.2.2.2.3 Υπεραγώγιμα Πηνία

Ένας άλλος τύπος διάταξης που αναπτύσσεται κυρίως για τη σταθεροποίηση των διακυμάνσεων στην τάση του δικτύου και την ενίσχυση της ισχύος σε ώρες αιχμής αλλά και με προοπτική για εφαρμογή σε ανανεώσιμες πηγές είναι το υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES).

Τα χαρακτηριστικά της διάταξης των υπεραγώγιμων πηνίων είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό, σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα ώστε να 'εγκλωβίζουν' αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πρόσφατες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη δείχνουν ότι και τα υπεραγώγιμα πηνία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όπου υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τα πρώιμα υπεραγώγιμα υλικά για να αποδώσουν χρειάζονται κρυογόνο ψύξη η όποια έχει μεγάλο κόστος. Τελευταία εμφανίστηκαν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί ('High Temperature' Superconductors, HTS) οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο ψύξη. Λόγω αυτού του γεγονότος αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγώγιμα καλώδια και ταινίες.

Πέρα από τα παραπάνω μια περαιτέρω στροφή στην ιστορία της υπεραγωγιμότητας ήταν η πρόσφατη ανακάλυψη ότι μία κοινή ένωση η MgB₂ μπορεί να ημι - άγει. Ωστόσο αυτό το υλικό χρειάζεται ψύξη περίπου στα 20°K, γι' αυτό οι επιστήμονες αναζητούν ένα υλικό που θα ήταν σε θέση να ημι - άγει σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες. Το ιδανικό θα ήταν κάποιο υλικό που θα παρουσίαζε αμελητέα ηλεκτρική αντίσταση στη θερμοκρασία δωματίου. Μέχρι τώρα όμως έχει ανακαλυφθεί το ασβέστιο 130°K ως ανώτερο όριο μετάβασης. Ανάμεσα στα υλικά που ερευνώνται είναι και ορισμένα πολυμερή πλαστικά και μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι έχουν παρατηρήσει τα σημάδια της υπεραγωγιμότητας στη θερμοκρασία δωματίου στον άνθρακα nanotubes.

9.2.2.3 Αποθήκευση Μακράς Διαρκείας

Στα μεγάλα συστήματα ΑΠΕ που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, για να συμπέσει η τροφοδοσία ενέργειας από αποθηκευτικές διατάξεις με τις προβλέψεις για ζήτηση ενέργειας απαιτείται μεγάλης κλίμακας και μακράς διάρκειας αποθήκευση ενέργειας. Μία πολλά υποσχόμενη λύση είναι ένα ηλεκτροχημικό σύστημα αποθήκευσης, η κυψέλη καυσίμων. Στη διάταξη αυτή ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται σε χωριστές δεξαμενές, από τις οποίες ρέει μέσα σε σωλήνες, συγκρατώντας τη συναρμολόγηση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας. Αυτή η διάταξη διευκολύνει πολύ τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, και ως εκ τούτου και την ισχύ που μπορεί να αποθηκευτεί.

Η ηλεκτροχημική απελευθέρωση της ενέργειας εμφανίζεται όταν δύο διαφορετικές ενώσεις άλατος (ηλεκτρολύτες) φέρνονται κοντά η μία στην άλλη μέσα στην κυψέλη αλλά χωρίζονται από μία μεμβράνη διεξαγωγής ιόντων. Η ροή ρεύματος μέσω της μεμβράνης δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια και κατά συνέπεια ενέργεια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Αυτή η ροή ρεύματος συνοδεύεται από χημικές μεταβολές και στους δύο ηλεκτρολύτες. Αυτές οι μεταβολές αναιρούνται αν κατά τη διάρκεια του κύκλου επαναφόρτισης εφαρμοστεί εξωτερικά στα ηλεκτρόδια ένα αντίστροφο δυναμικό. Με αυτό τον τρόπο οι συνδεδεμένοι ηλεκτρολύτες επιστρέφουν στην αρχική ηλεκτροχημική κατάστασή τους.

Με αυτή τη διαδικασία μπορούν να αποθηκευτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που υλοποιείται πρόσφατα στο Little Barford, Cambridgeshire, της Αγγλίας έχει χωρητικότητα 120 MWh – καθιστώντας το τη μεγαλύτερη μπαταρία παγκοσμίως. Αυτό το σύστημα έχει δύο δεξαμενές 1800m³ που περιέχουν υγρούς ηλεκτρολύτες πολυσουλφιδίων νατρίου και βρωμίδων νατρίου. Η εκφόρτιση μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια λεπτών ή ωρών και ο κύκλος φόρτισης/ εκφόρτισης μπορεί να επαναληφθεί επ' άοριστο. Η μέγιστη εκτιμώμενη ισχύς είναι 15MW. Η ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλή και η αποδοτικότητα περιορίζεται σε περίπου 75-80%. Άλλες χημικές δομές των κυψελών ροής είναι οι ψευδάργυρου/ βρωμίου, νατρίου/ βρωμίου και θειικό οξύ/ βαναδίου. Οι κυψέλες καυσίμων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με ανανεώσιμες πηγές. Για παράδειγμα διάφορα μακρινά χωριά στη Μαλαισία που τροφοδοτήθηκαν από υβριδικά συστήματα 'εκτός δικτύου' είχαν εγκατεστημένες κυψέλες καυσίμων

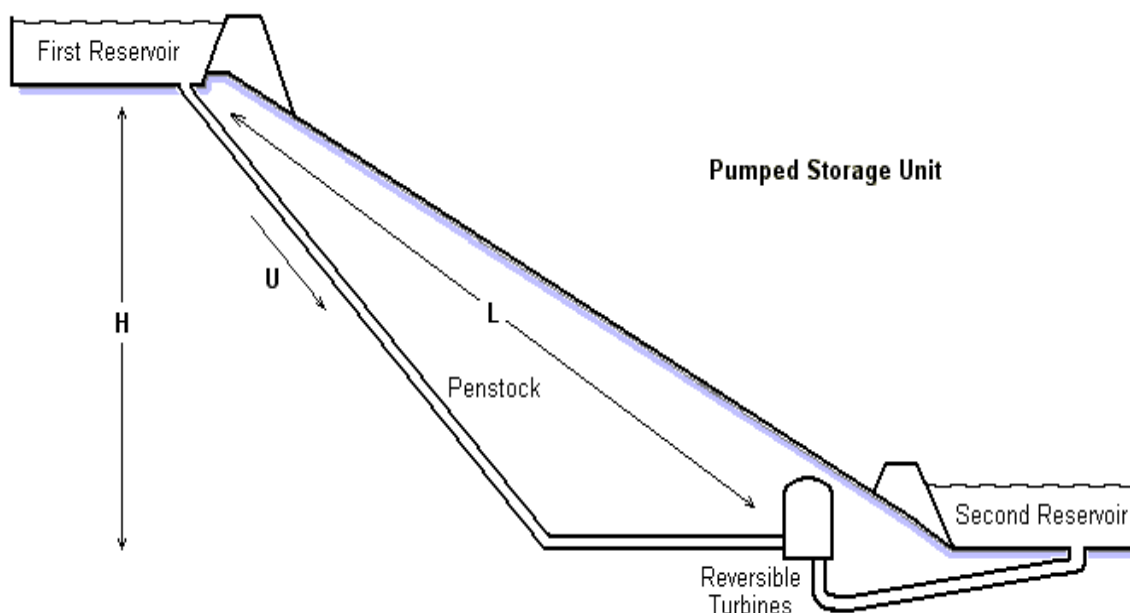
9.2.2.3.1 Αντλησιοταμίευση

Μια προτεινόμενη μέθοδος για συστήματα με ανανεώσιμες πηγές, είναι η αντλησιοταμίευση. Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η εξής: σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, ενώ

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή. Αυτή είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για πάνω από έναν αιώνα και είναι η μόνη τεχνική για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα ισχύος.

Ένα σύστημα αντλιοσταμίου αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή, οδηγοί νερού, αντλία, υδροστρόβιλος, κινητήρας, γεννήτρια και κατώτερη δεξαμενή νερού, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Σχ.53 : Αποθήκευση ενέργειας μέσω αντλιοσταμίου

First Reservoir: πρώτη δεξαμενή,

Penstock: αγωγός νερού

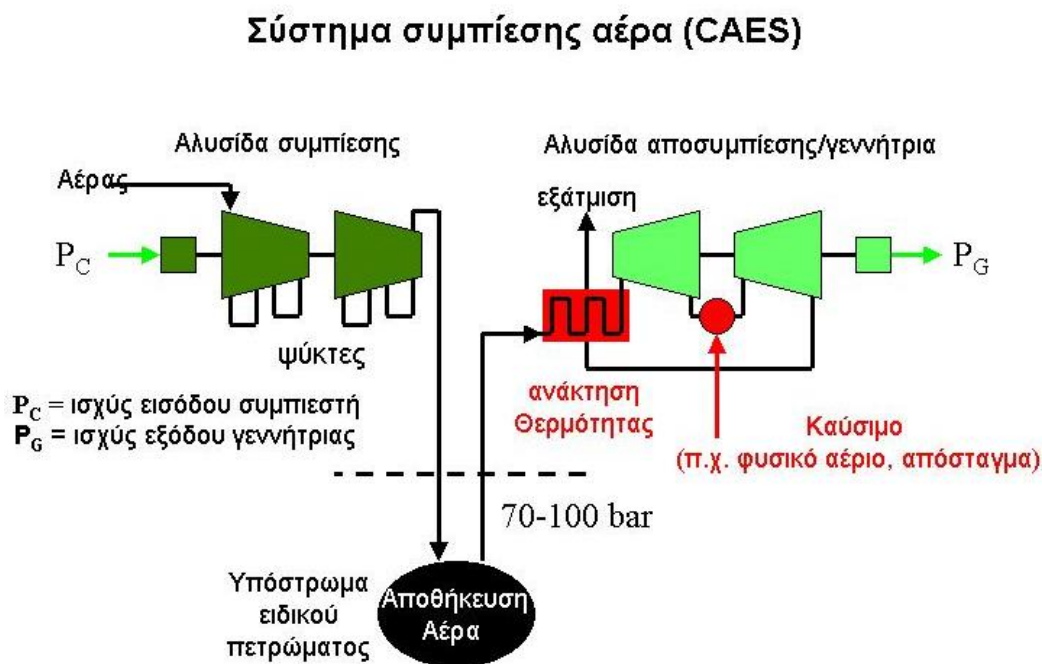
Reversible Turbines: στρόβιλοι αντιστρέψιμης φοράς

Second Reservoir: δεύτερη δεξαμενή

Παρόλο όμως που η αντλιοσταμίου μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ισχύος μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλιοσταμίου και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα.

9.2.2.3.2 Σύστημα Συμπίεσης Αέρα

Η βασική ιδέα της μεθόδου ότι συμπιεσμένος αέρας στα 800 ως 1600psi μπορεί να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεριοστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό, π.χ. κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, η μία στις ΗΠΑ και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf. Και οι δύο εγκαταστάσεις έχουν υπόστρωμα ορυκτού άλατος. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος φαίνεται σε γενικές γραμμές στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.54 : Αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος συμπίεσης αέρα

9.2.2.3.3 Αποθήκευση με Χρήση Υδρογόνου

Μια άλλη παραλλαγή ηλεκτροχημικής αποθήκευσης είναι η κυψέλη καυσίμων. Στην ουσία είναι μία μπαταρία που μπορεί επίσης να παραγάγει δική της ισχύ αν τροφοδοτηθεί με καύσιμο. Τέτοια καύσιμα είναι το υδρογόνο, είτε με την καθαρή μορφή του είτε σε μορφή υδρογονανθράκων (π.χ. μεθανόλη, φυσικό αέριο ή βενζίνη) από τους οποίους μπορεί αργότερα να εξαχθεί. Το υδρογόνο που παράγεται από τη μετατροπή ενός από τα καύσιμα που προαναφέρθηκαν ή από την ‘ανανεώσιμα τροφοδοτημένη’ ηλεκτρόλυση του νερού,

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

αντιπροσωπεύει μία κατάλληλη αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί είτε να τροφοδοτήσει ένα κύτταρο καυσίμου για την απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια είτε να αποθηκευτεί για μετέπειτα χρήση.

Η ηλεκτροχημική ενεργειακή μετατροπή σε ένα κύτταρο καυσίμων είναι περιβαλλοντικά καθαρή. Καταρχήν γιατί το κύριο προϊόν αποβλήτων είναι το νερό (το υδρογόνο αντιδρά χημικά με το οξυγόνο του αέρα για να διαμορφώσει νερό, απελευθερώνοντας ιόντα κατά την αντίδραση) και κατά δεύτερον είναι πολύ αποδοτικότερο από το να καίγεται σε μία μηχανή καύσης για να παράγει αρχικά θερμική ενέργεια και ύστερα μηχανική¹.

Η αποθήκευση του υδρογόνου αποτελεσματικά και ακίνδυνα αποτελεί ακόμη αντικείμενο έρευνας. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σαν αέριο, σαν υγρό αν ψυχθεί με κρυοστατικό τρόπο σε θερμοκρασία μικρότερη των 20°K ή, θεωρητικά, σαν στερεό σε θερμοκρασία κάτω των 4.2°K. Μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε συνδυασμό με άλλα υλικά ως υδρίδιο (ένωση υδρογόνου), σαν υδρογονάνθρακας από τον οποίο μπορεί να παρασκευαστεί, σαν μια άλλη χημική ουσία πλούσια σε υδρογόνο όπως η αμμωνία, ή ως αέριο που έχει προσροφηθεί πάνω σε ένα στερεό υλικό ή μέσα στα διάκενα ενός υλικού με μικροπόρους.

Υγρή μορφή

Η υγρή αποθήκευση ως κρυογενές υγρό θα επέφερε υψηλές ενεργειακές πυκνότητες αλλά η διαδικασία ρευστοποίησης και το επόμενο στάδιο της επαναφοράς σε υγρή μορφή πριν από τη χρήση θα πρόσθεταν δαπάνες και θα περιλάμβαναν ενεργειακές απώλειες μέχρι και 30%. Παρόλα αυτά πρωτότυπα οχήματα-δεξαμενές υπάρχουν ήδη, ενώ κορυφαίες επιχειρήσεις στο χώρο του αυτοκινήτου (GM, BMW) συνεργάζονται για να εξετάσουν το πρόβλημα του υγρού υδρογόνου. Ειδικές έρευνες στοχεύουν στο να μειώσουν το βάρος των κρυογόνων δεξαμενών στο ένα τρίτο και τα μέχρι τώρα ποσοστά εξάτμισης στο μισό. Ένα τυπικό σύστημα θα συνδύαζε πίεση 20 bar και θερμοκρασία περίπου 77°K.

Αερώδης μορφή

Τελευταία, επίσης, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αποθήκευση υδρογόνου με την κανονική (σε κανονικές συνθήκες) αερώδη μορφή του, διατηρώντας το υπό πίεση μέσα στις δεξαμενές. Ένα γραμμάριο υδρογόνου καταλαμβάνει όγκο 11 λίτρων κανονικά και τόσες ατμόσφαιρες πίεσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί μία χρήσιμη πυκνότητα ενέργειας. Μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί πιέσεις μέχρι 5000psi (350 ατμόσφαιρες ή bar) και πρόσφατα οι αυτοκίνητες δεξαμενές 10000psi (700bar) έχουν πετύχει την πιστοποίηση.

Λαμβάνοντας υπόψη το ζήτημα της ασφάλειας, οι δεξαμενές πρέπει να περάσουν μια αυστηρή σειρά από εκρήξεις, δοκιμές ανακύκλωσης πίεσης, θερμοκρασίας, διάβρωσης,

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

σύγκρουσης, πυρκαγιάς, πυροβολισμού κ.α. Αρκετοί είναι εκείνοι που θεωρούν την αποθήκευση υδριδίων μετάλλων πιο ελπιδοφόρα από τη ρευστοποίηση ή από τη διατήρηση του υδρογόνου υπό πίεση. Τα υδρίδια παράγονται με την επαφή του αερίου υδρογόνου με το μέταλλο και στη συνέχεια με συμπίεση του αερίου, σε τιμές πίεσης όπου το υδρογόνο συμπυκνώνεται στην στερεά του μορφή, διαμορφώνοντας ένα γνωστό υδρίδιο με το μέταλλο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ‘φόρτισης’ απελευθερώνεται θερμότητα και στη συνέχεια απαιτείται θερμότητα για την εξαγωγή υδρογόνου από το υδρίδιο.

Οι υψηλότερες χωρητικότητες προσφέρονται από μέταλλα που διαμορφώνουν υδρίδια στις υψηλές θερμοκρασίες (250 – 350°C), αλλά παρόμοιες θερμοκρασίες απαιτούνται για να ελευθερώσουν ξανά το υδρογόνο όταν χρειαστεί. Αυτό καθιστά το σύστημα ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου και του αυτοκίνητου. Γι’ αυτό οι ερευνητές επιδιώκουν τη χρήση κραμάτων και άλλων υλικών που προσφέρουν αυξημένα ποσοστά απορρόφησης/ απελευθέρωσης σε κανονικότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά των υλικών είναι η δυνατότητα να ανακυκλώνονται πολλές φορές χωρίς υποβάθμιση, να απορροφούν μόνο το υδρογόνο χωρίς σχετικές ακαθαρσίες, να είναι ελέγξιμα τα ποσοστά απορρόφησης και απελευθέρωσης, και η σταθερότητα των υδριδίων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Ορισμένα υδρίδια, όπως αυτά που διαμορφώνονται με σίδηρο/ τιτάνιο και λανθάνιο/ κράματα νικελίου προσφέρουν υψηλή ογκομετρική αποδοτικότητα αποθήκευσης αλλά είναι βαριά. Υδρίδια του μαγνησίου, μαγνήσιο/ νικέλιο και μαγνήσιο/ κράματα τιτανίου είναι πολύ ελαφρύτερα.

Πολλά υποσχόμενη είναι η προσρόφηση αερίου υδρογόνου από στερεό άνθρακα, ένα υλικό που έχει μια πολύ λεπτή ιδιαίτερα πορώδη δομή στην οποία οι μυριάδες των μορίων υδρογόνου μπορούν να ‘αποθηκευτούν’. Αν και ικανά να συναγωνιστούν την πυκνότητα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου, τα ενεργοποιημένα συστήματα άνθρακα που ερευνήθηκαν ως τώρα χρειάστηκαν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (υγρού αζώτου) για την αποθήκευση και τη διατήρηση.

9.2.3 Σύγκριση των Εφαρμογών των Κυριότερων Αποθηκευτικών Μέσων

Με κριτήριο την ταχύτητα εκφόρτισης, πρώτα στην κλίμακα είναι τα υπεραγώγιμα πηνία και οι υψηλής ισχύος πυκνωτές με χρόνο εκφόρτισης λίγα δευτερόλεπτα. Η ισχύς των πυκνωτών υψηλής ισχύος κυμαίνεται από 100kW ως 1MW. Με χρόνο εκφόρτισης αρκετά δευτερόλεπτα ως και μερικά λεπτά ακολουθούν οι υψηλής ισχύος στρεφόμενες μάζες (flywheels), για συστήματα ισχύος από 10 ως λίγες εκατοντάδες kW. Στη συνέχεια ακολουθούν με τη σειρά οι μπαταρίες λιθίου – ιόντος, νικελίου – καδμίου, μολύβδου –

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

οξέως και οι υψηλής ενέργειας υπέρ – πυκνωτές (super capacitors) με χρόνο εκφόρτισης αρκετά λεπτά ως και μία ώρα αντίστοιχα. Η ισχύς των συστημάτων με μπαταρίες λιθίου – ιόντος κυμαίνεται από 1 ως 100kW, με μπαταρίες νικελίου – καδμίου από 1kW ως 5MW, με μπαταρίες μολύβδου - οξέως από 1kW ως 10MW και τέλος για τους υψηλής ενέργειας υπέρ - πυκνωτές από 5 ως 100kW. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες για συστήματα ισχύος ως και 5kW περίπου. Στην τελευταία κατηγορία με χρόνο εκφόρτισης της τάξεως κάποιων ωρών βρίσκονται οι μπαταρίες μετάλλου – αέρος για συστήματα ισχύος ως 10kW, οι μπαταρίες ροής ZnBr, VRB, PSB για συστήματα ισχύος από 10kW ως 10MW, ενώ στην ίδια κατηγορία για συστήματα 1GW κατάλληλη είναι οι αντλησιοταμίευση και τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα.

Με κριτήριο το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα ενέργειας (\$-kWh) φθηνότερες είναι οι μπαταρίες μετάλλου – αέρος με αρχικό κόστος 20 – 50\$, ακολουθούν οι διατάξεις αντλησιοταμίευσης με 40 – 100\$, οι μπαταρίες ροής (flow batteries) με κόστος από 100 ως 1100\$, οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος με 200 – 1000\$, οι νικελίου – καδμίου, οι λιθίου – ιόντος και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες με 800 – 2000\$ και στη συνέχεια οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες και οι υψηλής ισχύος E.C. Capacitors με κόστος που πλησιάζει τα 10000\$.

Με κριτήριο το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα ισχύος φθηνότεροι είναι οι υψηλής ισχύος E.C. Capacitors με 100 – 700\$, στη συνέχεια έρχονται οι υψηλής ισχύος στρεφόμενες μάζες και οι E.C. Capacitors με 150 – 700\$, ακολουθούν οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος με 300 – 800\$. Στην επόμενη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα με 700 ως 1000\$, οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου και τα συστήματα αντλησιοταμίευσης με 700 ως 1200\$, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα με κόστος 1000 – 1700\$ και τέλος οι λιθίου – ιόντος με 1200 – 6500\$ και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες με 3000 – 10000\$ όπως στον πίνακα 1.2.

Ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης τα αποθηκευτικά μέσα μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες:

- Διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης – κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος
- Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης – κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης διακυμάνσεων της αιολικής παραγωγής
- Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης – κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίου
- Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης – κατάλληλες για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας

Ως προς αυτές τις κατηγορίες, τα διάφορα αποθηκευτικά μέσα έχουν ταξινομηθεί στους παρακάτω πίνακες:

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύστημα πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
SMES	300	72000	Δευτερόλεπτα	0,95
Στρεφόμενες μάζες (χαμηλή ταχύτητα)	280	300	Δευτερόλεπτα	0,9
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	100 – 200	Δευτερόλεπτα	0,85
Συμπιεσμένος αέρας	400	10 – 20	Δευτερόλεπτα	0,5 – 0,7
Ultra capacitor	300	82000	Δευτερόλεπτα	0,95

Πίνακας 22 : Σύγκριση συστημάτων πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης

Σύστημα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Στρεφόμενες Σμάζες (ρυθμισμένη ταχύτητα)	100	125	Λίγα λεπτά	0,95
Στρεφόμενες μάζες (υψηλή ταχύτητα)	25000	350	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,93
Μπαταρίες (μολύβδου – οξέος)	175	200	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,7
Συμπιεσμένος αέρας	400	10-20	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,5-0,7

Πίνακας 23 : Σύγκριση συστημάτων βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύστημα μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Πάνω από 10 ώρες	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Πάνω από 10 ώρες	0,7
Υδρογόνο	500-20000	50-300	Πάνω από 10 ώρες	0,6
Συμπιεσμένος αέρας	575	2	Πάνω από 10 ώρες	0,79

Πίνακας 24 : Σύγκριση συστημάτων μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης

Σύστημα μακροπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Αποτελεσματικότητα
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Αρκετές μέρες	0,85
Υδρογόνο	500-10000	15-200	Αρκετές μέρες	0,59
Συμπιεσμένος αέρας	4150	1	Αρκετές μέρες	0,79
Αντλησιοταμίευση Συμβατική (500-1500MW)	1100	10	Αρκετές μέρες	0,87
Αντλησιοταμίευση Υπόγεια (2000MW)	1200	50	Αρκετές μέρες	0,87

Πίνακας 25 : Σύγκριση συστημάτων μακροπρόθεσμης αποθήκευσης

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η καταλληλότητα αποθηκευτικών μέσων, όσο αφορά εφαρμογές ισχύος και ενέργειας.

Αποθηκευτική διάταξη	πλεονεκτήματα	μειονεκτήματα	Εφαρμ. Ισχύος	Εφαρμ. Ενέργειας
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία		1
CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία και αέριο καύσιμο		1
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	2	1
Μετάλλου - αέρος	Πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας	Δύσκολη η ηλεκτρική φόρτιση		1
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)	1	1
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης	1	3
Ni – Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, αποτελεσματικότητα		1	2
Άλλες ενισχυμένες μπαταρίες	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος	Υψηλό κόστος παραγωγής	1	3
Μολύβδου – οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση	1	3
Στρεφόμενες μάζες (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	1	3
SMES, DSMES – Υπεραγωγίμα Πηνία	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας,	1	

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

		υψηλό κόστος παραγωγής		
E.C Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή αποτελεσματικότητα	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	1	2

- 1 : πλήρως κατάλληλο και λογικό
 - 2 : λογικό για αυτή την εφαρμογή
 - 3 : εφικτό αλλά όχι αρκετά πρακτικό ή οικονομικό
- κανένα σύμβολο: μη εφικτό ή μη οικονομικό

Πίνακας 26 : Συνοπτική σύγκριση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

9.2.4 Γεωγραφική Διασπορά Αιολικής Ισχύος & Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την περαιτέρω διείσδυση της αιολικής ενέργειας είναι ότι λόγω της στοχαστικότητας που την χαρακτηρίζει δημιουργεί διακυμάνσεις στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας γεγονός που με την σειρά του δημιουργεί προβλήματα στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά αναλύονται ενδελεχώς σε προηγούμενο σκέλος της εργασίας. Ωστόσο, εάν μπορούσε να γίνει πιο ομαλή ή τουλάχιστον πιο προβλέψιμη η καμπύλη συνάρτησης πιθανότητας της αιολικής παραγωγής τότε θα μειωνόντουσαν αντιστοίχως σε μεγαλύτερο βαθμό και οι διακυμάνσεις της τιμής. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να είναι διεσπαρμένη η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ώστε να μην συντονίζονται οι μετεωρολογικές συνθήκες που οδηγούν σε αυξομειώσεις της αιολικής ισχυρός εξόδου. Αυτό δεν είναι τόσο απλό διότι δεν είναι παντού διαθέσιμες οι τοποθεσίες για την εγκατάσταση αιολικής παραγωγής. Για παράδειγμα στην Γερμανία, το βόρειο τμήμα της χώρα έχει πολύ πιο μεγάλο αιολικό παραγωγικό δυναμικό. Αντιθέτως, το νότιο τμήμα για ποικίλους λόγους δεν έχει αντίστοιχη πρόοδο στο τομέα της αιολικής ενέργειας. Επίσης, ο βαθμός διασποράς που έχουν οι εγκαταστάσεις αιολικής παραγωγής είναι συνάρτηση και των δυνατοτήτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο διεσπαρμένο είναι το παραγωγικό δυναμικό τόσο μικρότερης ισχύος είναι ανάγκη να είναι το δίκτυο μεταφοράς της αιολικής ενέργειας. Αντιθέτως, ένα πολύ ισχυρό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαίο εάν πρόκειται να μην υπάρχει μεγάλη διασπορά στο εγκατεστημένο δυναμικό ειδάλλως ενδεχομένως να δημιουργούνται σημαία συμφόρησης του δικτύου (bottlenecks) στις πλευρές του δικτύου που είναι εγκατεστημένο το μεγάλο μερίδιο της αιολικής παραγωγής.

*Κεφάλαιο 10^ο: Συμπεράσματα και
Προοπτικές*

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

10.1 Συμπεράσματα

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής είναι τα ακόλουθα:

- Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι επικρατούσες αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια.
- Τα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα που φέρεται να παρουσιάζει η αιολική ενέργεια δεν έχουν βάση, δεδομένου ότι γίνεται σωστή μελέτη και προεργασία στην εγκατάσταση των αιολικών πάρκων.
- Τα χρηματιστήρια ενέργειας αποκτούν μεγάλη δυναμική στον όγκο συναλλαγών που διαχειρίζονται σε σχέση με τον συνολικό. Μελλοντικά κρίνεται πως το μερίδιο τους θα αυξηθεί. Ήδη όμως, οι τιμές που προκύπτουν αποτελούν σημείο αναφοράς για τις υπόλοιπες αγορές.
- Ο αποδοτικότερος μηχανισμός στήριξης και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι αυτός των εγγυημένων τιμών πληρωμών (Feed in Tariffs). Εντούτοις, το κόστος της χρηματοδότησης που απαιτεί είναι συγκριτικά αυξημένο σε σχέση με άλλους μηχανισμούς στήριξης. Ενδεικτικό παράδειγμα επιτυχημένης προώθησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας.
- Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την οριακή τιμή του συστήματος (τιμή χονδρικής) με δυο τρόπους, τον άμεσο και τον έμμεσο.
- Η άμεση επίδραση, γνωστή και ως Merit Order Effect, οφείλεται στην μετατόπιση της καμπύλης προσφοράς προς τα δεξιά, άρα αύξηση της συνολικής προσφοράς, με αποτέλεσμα την τομή με την καμπύλη ζήτησης σε νέο σημείο και άρα την ισορροπία της αγοράς σε χαμηλότερη οριακή τιμή.
- Η έμμεση επίδραση αποτελεί συνέπεια της αλληλεπίδρασης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας με το EU-ETS. Η μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ λόγω της αιολικής ενσωμάτωσης οδηγεί σε μείωση της αξίας των δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ και τελικά σε μείωση του κόστους των συμβατικών παραγωγών με αποτέλεσμα η μείωση του κόστους να αφομοιώνεται στην οριακή τιμή του συστήματος.
- Η χρηματοδότηση του μηχανισμού στήριξης που υποστηρίζει τις ΑΠΕ κατανέμεται στις περισσότερες περιπτώσεις στους τελικούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τελικές τιμές ενέργειας των καταναλωτών.
- Το τελικό αποτέλεσμα των δυο αντίρροπων δυνάμεων που υφίσταται η τελική τιμή των καταναλωτών δεν είναι σίγουρο και εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό της αιολικής διείσδυσης, από το επίπεδο των σταθερών τιμών πληρωμών και από την δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας κάθε αγοράς. Για τα δεδομένα της Γερμανίας η

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

τελική τιμή αυξάνεται αλλά η αύξηση είναι σε λογικά πλαίσια λόγω των περιβαλλοντικών εξωτερικών επιπτώσεων (externalities) που παρουσιάζουν οι συμβατικές τεχνολογίες παραγωγή ενέργειας.

- Η ακραία έκφανση της μείωσης της οριακής τιμής του συστήματος λόγω κυρίως της άμεσης αλλά και της έμμεσης επίδρασης που έχει η αιολική διείσδυση είναι το φαινόμενο των αρνητικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει έντονη ανελαστικότητα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ακόμα, το πρόβλημα που υπάρχει με την ηλιακή ενέργεια αλλά ιδίως με την αιολική ενέργεια είναι η διακοπτόμενη παραγωγή. Αυτό προκύπτει λόγω του στοχαστικού χαρακτήρα της έντασης του ανέμου αλλά και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η διακοπτόμενη παραγωγή που χαρακτηρίζει αυτές τις πηγές ενέργειας οδηγεί σε έντονη αύξηση της μεταβλητότητας των τιμών της αγοράς ενέργειας.
- Επίσης, η στοχαστικότητα της αιολικής παραγωγής επιτρέπει στην αιολική τεχνολογία να υποκαταστήσει σε μικρό βαθμό τις συμβατικές πηγές ενέργειας (capacity credit).
- Η υψηλή μεταβλητότητα τιμών, το χαμηλό capacity credit και η μείωση στα επίπεδα των τιμών χονδρικής αυξάνει τον επιχειρηματικό κίνδυνο της πλευράς παραγωγής με αποτέλεσμα να απειλείται η κατασκευή νέων εργοστασίων αλλά και να μειώνεται διαρκώς η ελαστικότητα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με εμφανή πλέον τον κίνδυνο της αδυναμίας πλήρους εκκαθάρισης της αγοράς. Έτσι, κινδυνεύει η ασφάλεια της παραγωγής και της τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών καταναλωτών.
- Επομένως, με το παρόντα σχεδιασμό του ηλεκτρικού συστήματος της Γερμανίας, οι στόχοι για περαιτέρω διείσδυση των ΑΠΕ είναι αβέβαιοι ενώ χρειάζεται αναδιαμόρφωση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να μπορέσουν να ενσωματωθούν και να απορροφηθούν μεγαλύτερες εγκατεστημένες ποσότητες αιολικής ενέργειας.
- Οι κυριότερες προοπτικές για αποσυμφόρηση της κατάστασης εντοπίζονται στις νέες τεχνολογίες αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και στην αύξηση της ελαστικότητας της ζήτησης.

10.2 Προοπτικές

Η παρούσα διπλωματική εργασία δύναται να διερευνήσει τις επιπτώσεις που έχει η διείσδυση των ΑΠΕ στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση εστιάστηκε στην αγορά ενέργειας της Γερμανίας και όσον αφορά στην ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας.

Περαιτέρω διερεύνηση θα ήταν αναγκαία σε δυο κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση θα ήταν να γίνει ανάλυση όλων των μηχανισμών υποστήριξης των ΑΠΕ σχετικά με τον τρόπο που επιδρούν στην τελική τιμή που αντιλαμβάνονται οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρούσα εργασία εστιάστηκε στο σύστημα εγγυημένων τιμών πληρωμών (Feed In Tariffs)

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

που είναι το πλέον διαδεδομένο. Η δεύτερη κατεύθυνση θα ήταν να μελετηθούν εις βάθος και τα αποτελέσματα και οι ιδιαιτερότητες της ενσωμάτωσης της φωτοβολταϊκής ενέργειας που δείχνει μεγάλη πρόοδο και έντονη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια.

Επίσης, χρήσιμα συμπεράσματα θα προέκυπταν από την ανάλυση των πραγματικών στοιχείων ενός έτους για την αγορά της Γερμανίας, δηλαδή αν για κάθε ημέρα και ώρα του χρηματιστήριου ενέργειας να υποτεθεί αύξηση της αιολικής παραγωγής ώστε να μελετηθεί η επίπτωση στην οριακή τιμή του συστήματος που θα υπήρχε με βάση την πραγματική καμπύλη προσφοράς και καμπύλη ζήτησης. Έτσι θα υπήρχαν αποτελέσματα τόσο για ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της αιολικής ενσωμάτωσης όσο και για τα επίπεδα της τιμής εάν δεν υπήρχε η σημερινή αιολική ενσωμάτωση ώστε να διαπιστωθεί η πραγματική μείωση της τιμής χονδρικής αν υπάρχει.

Τέλος, μελλοντική πιθανή εξέλιξη της ανάλυσης θα επιδιώξει την διερεύνηση των επιπτώσεων της διείσδυσης των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση στις ιδιαιτερότητες και στρεβλώσεις του ελληνικού συστήματος ώστε τελικά να εξαχθούν συμπεράσματα τόσο για το επίπεδο της χρηματοδότησης του μηχανισμού στήριξης που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα όσο και για τις επιπτώσεις στους τελικούς καταναλωτές και στην πλευρά της παραγωγής.

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Held, Anne, Mario Ragwitz, and Reinhard Haas. "On the success of policy strategies for the promotion of electricity from renewable energy sources in the EU." *Energy & Environment* 17.6 (2006): 849-868.

Butler, Lucy, and Karsten Neuhoff. "Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development." *Renewable Energy* 33.8 (2008): 1854-1867.

Haas, Reinhard, et al. "A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.2 (2011): 1003-1034.

Haas, Reinhard, et al. "Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources—Lessons from EU countries." *Energy* 36.4 (2011): 2186-2193

Madlener, Reinhard, and Markus Kaufmann. "Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence." Verfügbar unter: <http://www.oscogen.ethz.ch> (2002).

Rathmann, Max. "Do support systems for RES-E reduce EU-ETS-driven electricity prices?." *Energy Policy* 35.1 (2007): 342-349.

Menanteau, Philippe, Dominique Finon, and Marie-Laure Lamy. "Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy." *Energy policy* 31.8 (2003): 799-812.

John Chandley, LECG, LLC. *How RTOs Set Spot Market Prices* (September 2007)

Lijesen, Mark G. "The real-time price elasticity of electricity." *Energy economics* 29.2 (2007): 249-258.

Green, Richard and Nicholas Vasilakos. "Market behaviour with large amounts of intermittent generation." *Energy Policy* 38.7 (2010): 3211-3220.

Janina C. Ketterer *The Impact of Wind Power Generation on the Electricity Price in Germany* (October 2012)

Traber, Thure, and Claudia Kemfert. "Impacts of the German support for renewable energy on electricity prices, emissions, and firms." *Energy Journal* 30.3 (2009): 155.

Sáenz de Miera, Gonzalo, Pablo del Río González and Ignacio Vizcaíno. "Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices: The case of wind electricity in Spain." *Energy Policy* 36.9 (2008): 3345-3359.

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. "The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany." *Energy policy* 36.8 (2008): 3086-3094.

Bode, Sven; Groscurth, Helmuth-Michael (2006) : The Effect of the German Renewable Energy Act (EEG) on "the Electricity Price", HWWA Discussion Paper, No. 358, <http://hdl.handle.net/10419/19388>

Munksgaard, Jesper, and Poul Erik Morthorst. "Wind power in the Danish liberalised power market—Policy measures, price impact and investor incentives." *Energy Policy* 36.10 (2008): 3940-3947.

Klessmann, Corinna, Christian Nabe, and Karsten Burges. "Pros and cons of exposing renewables to electricity market risks—A comparison of the market integration approaches in Germany, Spain, and the UK." *Energy Policy* 36.10 (2008): 3646-3661.

Nicolosi, Marco. "Wind power integration and power system flexibility—An empirical analysis of extreme events in Germany under the new negative price regime." *Energy Policy* 38.11 (2010): 7257-7268.

Fanone, Enzo, Andrea Gamba, and Marcel Prokopczuk. "The case of negative day-ahead electricity prices." *Energy Economics* 35 (2013): 22-34.

Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C. M., & Vance, C. (2010). Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience. *Energy Policy*, 38(8), 4048-4056.

Keles, Dogan, et al. "Comparison of extended mean-reversion and time series models for electricity spot price simulation considering negative prices." *Energy Economics* 34.4 (2012): 1012-1032.

Rathmann, M., 2007. Do support systems for RES-E reduce EU-ETS-driven electricity prices? *Energy Policy* 35 (1), 342–349.

Sensfuß, F., 2007. Assessment of the impact of renewable electricity generation on the German electricity sector—an agent-based simulation approach. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.VDI, Dusseldorf.

Bode, Sven. *On the impact of renewable energy support schemes on power prices*. No. 4-7. HWWI Research Paper, 2006.

Genoese, M., Sensfuß, F., Möst, D., Rentz, O., 2007. Agent-based analysis of the impact of CO2 emission trading on spot market prices for electricity in Germany. *Pacific Journal of Optimization* 3 (3), 401–423

Ragwitz, M., Held, A., Resch, G., Faber, T., Haas, R., Huber, C., Coenraads, R., Voogt, M., Reece, G., Morthorst, P.E., Jensen, S.G., Konstantinaviciute, I., Heyder, B., 2007. Assessment

Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

and Optimisation of Renewable Energy Support Schemes in the European Electricity Market. Fraunhofer IRB Verlag.

Διπλωματική Εργασία: Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τάσσιου Ιωάννα

Διπλωματική Εργασία: Ανάλυση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας της Γαλλίας, Μαρνέρης Ηλίας

Eurelectric, 2004. A Quantitative Assessment of Direct Support Schemes for Renewables, Brussels.

European Commission, 2007. Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. COM(2006) 848 final, Brussels, 10.1.200

IDAE, 2005. Renewable energy and energy efficiency. Bulletin no. 7. Madrid (in Spanish) [/http://www.idae.es](http://www.idae.es).

Bierbrauer, M., Menn, C., Rachev, S., Trück, S., 2007. Spot and derivative pricing in the EEX power market. *Journal of Banking & Finance* 31 (11), 3462–3485.

Erdmann, G., 2008. Indirekte Kosten der EEG Förderung. Working paper, Technical University Berlin. URL www.ensys.tu-berlin.de

Hulle, F. V., 2009. Integrating wind. Final report of the TradeWind project, European Wind Energy Association and TradeWind Consortium. URL www.trade-wind.eu

Jonsson, T., Pinson, P., Madsen, H., 2010. On the market impact of wind energy forecasts. *Energy Economics* 32 (2), 313–320.

Karakatsani, N., Bunn, D., 2010. Fundamental and behavioural drivers of electricity price volatility. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics* 14 (4), 1–40.

Klinge Jacobsen, H., Zvingilaite, E., 2010. Reducing the market impact of large shares of intermittent energy in Denmark. *Energy Policy* 38 (7), 3403–3413.

Milstein, I., Tishler, A., 2011. Intermittently renewable energy, optimal capacity mix and prices in a deregulated electricity market. *Energy Policy* 39, 3922–3927.

Nicolosi, M., Fursch, M., 2009. The impact of an increasing share of RES-E on the conventional power market - The example of Germany. *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 3, 246–254.

Ray, S., Munksgaard, J., Morthorst, P. E., Sinner, A.-F., 2010. Wind energy and electricity prices: Exploring the merit order effect. Report, European Wind Energy Association, Brussels. URL www.ewea.org

**Διερεύνηση των Επιπτώσεων της Διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Woo, C., Horowitz, I., Moore, J., Pacheco, A., 2011. The impact of wind generation on the electricity spot-market price level and variance: The Texas experience. *Energy Policy* 39 (7), 3939–3944.

Madlener, Reinhard, and Markus Kaufmann. "Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence." *Verfügbar unter: <http://www.oscogen.ethz.ch>* (2002).