



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

Μοντέλο Διαχείρισης Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Δ. Καλπαξής

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



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

Μοντέλο Διαχείρισης Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Δ. Καλπαξής

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25^η Φεβρουαρίου 2025.

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α. Ε. Δημέας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

.....

Παναγιώτης Δ. Καλπαξής

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

Copyright © Παναγιώτης Δ. Καλπαξής, 2025.

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.

Περίληψη

Η σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει μετεξελιχθεί από την καθετοποιημένη μονοπωλιακή βάση παραγωγής του παρελθόντος, σε ένα σύνολο οντοτήτων ιδιωτικού (εταιρείες) και δημοσίου δικαίου που συνεργάζονται για την παραγωγή, τη διανομή και την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους τελικούς καταναλωτές. Η κατάργηση του μονοπωλιακού τρόπου διαχείρισης της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, συντελέστηκε με τις παρεμβάσεις και τις ρυθμίσεις της νομοθεσίας τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο. Η διακίνηση των ποσών ενέργειας στην σύγχρονη αγορά, συντελείται μέσω των Χρηματιστηρίων Ενέργειας. Οι Πάροχοι ενέργειας καλούνται να υποβάλλουν προσφορές για την πώληση ισχύος, σε ημερήσιο, ενδο-ημερήσιο επίπεδο, ή με την χρήση διμερών συμβάσεων. Η απελευθέρωση της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας αποδεσμεύει τους τελικούς καταναλωτές ως προς την επιλογή παρόχου με βάση την χαμηλότερη τιμή πώλησης. Η επιλογή του μίγματος τεχνολογιών και παρόχων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μίας αγοράς (grid), συνιστά ένα μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης με εφαρμογή κατάλληλων δεσμεύσεων. Το πρόβλημα απαιτεί την χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης Κυρτής και Μη Κυρτής Ανάλυσης με χρήση δικατάστατων μεταβλητών.

Στα πλαίσια της εργασίας, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης των συνθηκών της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση του περιβάλλοντος μαθηματικής προσομοίωσης Matlab®. Στο μοντέλο αυτό, η προσομοίωση εξελίσσεται σε χρονικά βήματα με βάση τις προσφορές παροχής ισχύος από τους Παρόχους και τις απαιτήσεις κατανάλωσης των Καταναλωτών. Το μοντέλο δίνει την δυνατότητα για την εφαρμογή πολύπλοκων σεναρίων προσομοίωσης με δυναμικές συνθήκες, στοχεύοντας στην βέλτιστη επιλογή Παρόχων με βάση τις προσφορές τους, ελαχιστοποιώντας το Μέσο Οριακό Κόστος για την αγορά ηλεκτρικής ισχύος. Αναλυτικότερα η εργασία περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η ιστορική μετεξέλιξη της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας από το παραδοσιακό καθετοποιημένο μοντέλο, στην σύγχρονη Αγορά με χρήση των Χρηματιστηρίων Ενέργειας. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι μετρικές αποτίμησης του κόστους στη σύγχρονη αγορά και η έννοια της διακύμανσης του οριακού κόστους παραγωγής. Επιπλέον, παρουσιάζεται η μαθηματική βάση του προβλήματος βελτιστοποίησης για την επιλογή των Παρόχων που ελαχιστοποιούν το προσφερόμενο κόστος ενέργειας προς τους Καταναλωτές. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης που λειτουργεί με πυρήνα τις τεχνικές βελτιστοποίησης για την επίτευξη επιτυχών δημοπρασιών στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας. Στο Κεφάλαιο 4 προσομοιώνονται πραγματικές συνθήκες αγοραπωλησίας ενέργειας και υπολογίζονται οι μετρικές επιδόσεων από την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης σε ένα χρονικό σενάριο 24 ωρών. Τέλος το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα συμπεράσματα από την εφαρμογή της προσομοίωσης για την επίδραση των δυναμικών συνθηκών ως προς το Μέσο Οριακό Κόστος Αγοράς. Η εργασία ολοκληρώνεται με προτάσεις για την μελλοντική βελτίωση και επέκταση του μοντέλου μαθηματικής προσομοίωσης με συμπερίληψη και άλλων παραγόντων.

Λέξεις κλειδιά

Καθετοποιημένη παραγωγή, Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, Χρηματιστήριο Ενέργειας, Α.Π.Ε., μαθηματική προσομοίωση, Οριακό Κόστος, Κόστος ενεργοποίησης μονάδων παραγωγής, τεχνικές βελτιστοποίησης, Ρυθμιστική Αρχή, Διαχειριστής Συστήματος

Abstract

Modern electricity market has evolved from the vertically integrated monopolistic production Model based on the past, to a set of private companies and public law entities that co-operate for the production, distribution and pricing of electricity to the end consumers. The abolition of the monopolistic way of managing the Electricity Market was achieved through the interventions and regulations of legislation at both European and National levels. Procurement of energy amounts in the modern market is carried out through Energy Exchanges (Stock Markets). Energy Providers are invited to submit bids for the sale of their power, on a daily (inter-day), intra-day level, or through the use of bilateral contracts. The liberalization of the electricity market frees end consumers to choose a provider based on the lowest selling price offers. The selection among the mix of technologies and providers to cover the energy needs of a market (grid) constitutes a mathematical optimization problem with the application of appropriate constraints for solving. The problem requires the use of Convex and Non-Convex Analysis optimization techniques using binary and continuous variables.

In the framework of current work, a simulation model of the electricity market conditions was developed using the mathematical simulation environment Matlab ®. In this model, the simulation evolves in time steps based on the power supply offers from the Providers and the consumption requirements (demands) of the Consumers. The model enables the implementation of complex simulation scenarios with dynamic conditions, aiming at the optimal selection of Providers based on their offers, minimizing the Average Marginal Cost (aveMC) for the electricity market. In more detail, the work includes the following chapters:

Chapter 1 presents the historical evolution of the Electricity Market from the traditional vertically integrated model to the modern Market using Energy Exchanges Markets. Chapter 2 presents the cost valuation metrics in the modern market and the concept of the variation of the marginal cost of production. In addition, the mathematical basis of the optimization problem for the selection of Providers that minimize the offered energy cost to Consumers is presented. Chapter 3 presents the mathematical simulation model that operates with optimization techniques as its core for achieving successful auctions in the Electricity Market. Chapter 4 simulates real energy trading scenario and calculates the performance metrics from solving the optimization problem over a 24-hour time scenario. Finally, Chapter 5 presents the conclusions from the application of the simulation on the effect of dynamic conditions on the Average Marginal Market Cost. Current work concludes with suggestions for the future improvement and expansion of the mathematical simulation model by including other topics and factors.

Key words

Vertically integrated production, Electricity Market, Energy Exchange, RES, mathematical simulation, Marginal Cost, Power Units activation cost, optimization techniques, Regulatory Authority, System Operator

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου Κο. Νικόλαο Χατζηαργυρίου τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, όσο και για την άριστη συνεργασία μας για την επιτυχημένη ολοκλήρωσή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τα κοντινά μου πρόσωπα, που με την αμέριστη υποστήριξη και εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου συνέβαλλαν αποφασιστικά στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη 5

Abstract 6

Ευχαριστίες

Περιεχόμενα

Κατάλογος σχημάτων

Κατάλογος πινάκων

1	Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16 -
1.1	Ιστορική Αναδρομή για την Παραγωγή και Διανομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας	16 -
1.2	Το παραδοσιακό μοντέλο και η μετάβαση στην σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	18 -
1.3	Το Ελληνικό Μοντέλο Παραγωγής και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού	24 -
1.4	Προβλήματα και Θέματα στο εκσυγχρονισμένο μοντέλο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	26 -
1.5	Η ιδιωτικοποίηση στην σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	27 -
1.6	Η Ευρωπαϊκή προσέγγιση για την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	27 -
1.6.1	Η Ευρωπαϊκή εσωτερική Αγορά και τα ιστορικά βήματα που συνετέλεσαν στη διαμόρφωση της	30 -
1.6.2	Η Ευρωπαϊκή πολιτική για τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων.....	31 -
1.6.3	Η Ευρωπαϊκή πολιτική για την Ενεργειακή σύζευξη των κρατών - μελών ..	33 -
1.7	Το Ελληνικό Νομικό Πλαίσιο και η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	37 -
1.7.1	Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας - Ε.Χ.Ε.....	37 -
1.8	Τύποι Συναλλαγών στην Σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	39 -
1.8.1	Η Αγορά Επόμενης Ημέρας.....	39 -
1.8.2	Η Ενδοημερήσια Αγορά	40 -
1.8.3	Η Προθεσμιακή Αγορά.....	40 -
1.8.4	Η Αγορά Εξισορρόπησης.....	41 -
1.8.5	Διμερή Συμβόλαια	41 -
1.9	Μηχανισμοί Εποπτείας και Ελέγχου. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας	42 -
2	Οικονομικά Θέματα στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.	44 -
2.1	Η τιμή Άμεσης Παράδοσης και η Οριακή Τιμή Άμεσης Απόδοσης.....	44 -
2.2	Η τιμή Εκκαθάρισης της Αγοράς και το Οριακό Κόστος	49 -
2.3	Προγραμματισμός, Συναλλαγές και Λειτουργία μιας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	50 -
2.4	Οι συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	54 -
2.4.1	Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Καταναλωτή	55 -
2.4.2	Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Πωλητών/Μεταπωλητών.....	56 -
2.4.3	Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Παραγωγών	58 -
2.4.4	Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Διαχειριστή Συστήματος	58 -
2.5	Οι Ανανεώσιμες Πηγές στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	59 -
2.6	Τα Δίκτυα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και η επίδραση τους στη διαμόρφωση του οριακού κόστους.....	61 -
2.7	Το μαθηματικό Πρόβλημα Διαχείρισης της Ηλεκτρικής Ενέργειας	64 -
2.7.1	Η έννοια της πληροφορίας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	65 -

2.7.2	Υπολογιστικές Απαιτήσεις στα συστήματα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	- 66 -
2.7.3	Μακροπρόθεσμες Ενδείξεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	- 66 -
2.7.4	Παράδειγμα του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	- 67 -
3	Μοντέλο Προσομοίωσης της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	- 71 -
3.1	Η έννοια της αυτόνομης ηλεκτρικής περιφέρειας - Grid.....	- 71 -
3.2	Δομές στη συγκρότηση του Μοντέλου Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Market_Model)	- 73 -
3.2.1	Το αρχείο περιγραφής των Παρόχων (Providers.xls).....	- 74 -
3.2.2	Το αρχείο περιγραφής των Καταναλωτών (Consumers.xls)	- 75 -
3.2.3	Η εσωτερική δομή - οργάνωση του μοντέλου προσομοίωσης (Market_Model).....	- 76 -
3.2.4	Τμήμα καθορισμού Γενικών παραμέτρων (Model General Parameters)	- 77 -
3.2.5	Τμήμα καθορισμού ειδικών παραμέτρων (Model Special Parameters)	- 78 -
3.3	Πυρήνας Κώδικα του Μοντέλου Προσομοίωσης.....	- 79 -
3.3.1	Τμήμα μετα-φόρτωσης των αρχείων Παρόχων/Καταναλωτών (Load Model Variables)	- 80 -
3.3.2	Τμήμα ελέγχου ορθότητας παραμέτρων καθορισμού (Parser Error Checking).....	- 80 -
3.3.3	Τμήμα του μοντέλου για την επίλυση του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης (Simulation Model)	- 80 -
3.4	Η επίδραση των Δομών Συσσωρευσης - Ανάκτησης Ενέργειας σε ένα μοντέλο προσομοίωσης Grid.....	- 83 -
3.5	Προσομοίωση και Ανάλυση αποτελεσμάτων στο Μοντέλο	- 83 -
3.6	Μετρικές Επιδόσεων και Αξιολόγησης του Μοντέλου	- 83 -
3.6.1	Τμήμα υπολογισμού μετρικών επιδόσεων (Metrics Calculations).....	- 84 -
3.6.2	Τμήμα γραφικών αναπαραστάσεων (Simulation Graphs).....	- 86 -
3.6.3	Τμήμα υπολογισμού αριθμητικών αποτελεσμάτων (Simulation Tables).....	- 86 -
4	Σενάρια Προσομοίωσης στο Μοντέλο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	- 88 -
4.1	Περιγραφή Σεναρίου Προσομοίωσης	- 88 -
4.2	Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης	- 90 -
4.2.1	Επίπεδα ενεργειακής κάλυψης των Παρόχων στο σενάριο	- 90 -
4.2.2	Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο	- 92 -
4.2.3	Κέρδος και Απώλειες των Παρόχων στο σενάριο	- 95 -
4.2.4	Κόστος Αγοράς ηλεκτρικής ισχύος Καταναλωτών. Κέρδος και Απώλειες των Καταναλωτών στο σενάριο	- 97 -
4.2.5	Η διαμόρφωση της Οριακής Τιμής Κόστους στο σενάριο	- 99 -
4.3	Συγκεντρωτικές Μετρικές Επίδοσεις του Μοντέλου για το σενάριο προσομοίωσης.....	- 104 -
4.4	Η επίδραση του τρόπου Εκκαθάρισης της Αγοράς στα κέρδη και τις απώλειες Παρόχων και Καταναλωτών	- 106 -
5	Συμπεράσματα από την προσομοίωση του Μοντέλου Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	- 108 -
5.1	Συμπεράσματα από την προσομοίωση του σεναρίου	- 108 -
5.1.1	Διακύμανση Οριακής Τιμής Συστήματος.....	- 111 -
5.1.2	Κόστος Ενεργοποίησης Μονάδων Παραγωγής.....	- 111 -
5.1.3	Κέρδος των Παρόχων	- 112 -
5.1.4	Απώλειες των Παρόχων.....	- 113 -
5.1.5	Κέρδος - Απώλειες των Καταναλωτών	- 114 -

5.1.6 Μέθοδοι Εκκαθάρισης της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	114 -
5.2 Γενικά Συμπεράσματα για τις Σύγχρονες Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας	115 -
5.3 Προτάσεις Επέκτασης του Μοντέλου Προσομοίωσης.....	118 -
Παραρτήματα	120 -
Παράρτημα Α	120 -
Α-1 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Ρ.Α.Ε.	120 -
Α-2 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Α.Δ.Μ.Η.Ε.....	120 -
Α-3 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Αγοράς Επόμενης Ημέρας	121 -
Α-4 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Ενδοημερήσιας Αγοράς	122 -
Α-5 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Προθεσμιακής Αγοράς.....	123 -
Παράρτημα Β	124 -
Β-1 Αρχείο Παρόχων Σεναρίου Προσομοίωσης	124 -
Β-2 Αρχείο Καταναλωτών Σεναρίου Προσομοίωσης	126 -
Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές Πηγές	128 -

Κατάλογος Σχημάτων

- Σχήμα 1: Παραδοσιακό μοντέλο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας [4]
Σχήμα 2: Μοντέλο πρώτης μετεξέλιξης του παραδοσιακού μοντέλου παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [4]
Σχήμα 3: Το Καθετοποιημένο μοντέλο σε συνεργασία με ανεξάρτητους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας (IPPs) [4]
Σχήμα 4: Μετεξέλιξη μοντέλου ηλεκτρικής ενέργειας με Παραγωγούς Υψηλής κλίμακας Ισχύος [4]
Σχήμα 5: Οι εταιρείες λιανικής πώλησης
Σχήμα 6: Διάγραμμα εγκατεστημένης ισχύος και ζήτησης αιχμής (GW) για την Ευρώπη 2004 – 2010 [3]
Σχήμα 7: Διακύμανση της τιμής του πετρελαίου για το διάστημα 1861 – 2015 [6]
Σχήμα 8: Μίγμα Παραγωγής ενέργειας από διαφορετικές πηγές καυσίμων [19]
Σχήμα 9: Επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ε.Ε. για το χρονικό διάστημα 1965 – 2020 (εκατομμύρια τόνοι) [19]
Σχήμα 10: Οι επτά περιφερειακές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη [6]
Σχήμα 11: Περιφέρειες υπολογισμού δυναμικότητας (Capacity Calculation Regions – CCRs) [6]
Σχήμα 12: Χάρτης των μελών σύζευξης [6]
Σχήμα 13: Τα τρία κύματα διασύνδεσης του XBD project [6]
Σχήμα 14: Νέο Ρυθμιστικό Πλαίσιο – Κατευθύνσεις και Ρυθμιστικά κείμενα [6]
Σχήμα 15: Σχηματική Αναπαράσταση του Χρηματιστηριακού Μοντέλου Οργάνωσης [6]
Σχήμα 16: Ενδεικτικά διαγράμματα ωριαίας τιμής άμεσης απόδοσης σε διάρκεια 24 ωρών [5]
Σχήμα 17: Ετήσια καμπύλη απόδοσης τιμών [5]
Σχήμα 18: Επίδραση των αλλαγών φορτίου καταναλωτών στην παραγωγική ικανότητα του παρόχου [5]
Σχήμα 19: Οι δομικές οντότητες που συνθέτουν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [20]
Σχήμα 20: Σύνδεση παραγωγού στο δίκτυο με χαμηλό (ρηχό) κόστος [1]
Σχήμα 21: Διασύνδεση του παραγωγού με το δίκτυο και ενισχύσεις στα σημεία Α και Β – Βαθύ κόστος [1]
Σχήμα 22: Γραφική παράσταση της δυϊκής συνάρτησης $g(\lambda)$ για το πρόβλημα βελτιστοποίησης [20]
Σχήμα 23: Εσωτερική δομή του μοντέλου προσομοίωσης Grid
Σχήμα 24: Ανάλυση των υπο-τμημάτων του μοντέλου προσομοίωσης Grid
Σχήμα 25: Ποσοστό απορροφώμενης ισχύος προς Κατανάλωση
Σχήμα 26: Μέγιστη συνολικά προσφερόμενη ισχύς από τους Παρόχους στο σενάριο
Σχήμα 27: Απαιτούμενη ισχύς από τους Καταναλωτές στο σενάριο
Σχήμα 28: Επίπεδα συνολικής υπολειπόμενης (Residual) ισχύος στο σενάριο
Σχήμα 29: Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο
Σχήμα 30: Αναλυτική Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο
Σχήμα 31: Κέρδη των Παρόχων στο σενάριο
Σχήμα 32: Απώλειες των Παρόχων στο σενάριο
Σχήμα 33: Κέρδη και Απώλειες των Καταναλωτών στο σενάριο
Σχήμα 34: Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ισχύος των Καταναλωτών στο σενάριο
Σχήμα 35: Διακύμανση της Οριακής Τιμής Κόστους στο σενάριο
Σχήμα 36: Εισαγωγή τους Κόστους Ενεργοποίησης των Παρόχων στο σενάριο

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Νομοθετική Διαδικασία της οδηγίας "Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους

Πίνακας 2: Χρηματιστηριακό μοντέλο οργάνωσης και Εκκαθαριστές Συναλλαγών

Πίνακας 3: Παραδείγματα πιθανών μοντέλων συναλλαγών, επικοινωνίας

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά 3 παραγωγών για την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης

Πίνακας 5: Τυπικό αρχείο Providers.xls για την προσομοίωση του μοντέλου

Πίνακας 6: Τυπικό αρχείο Consumers.xls για την προσομοίωση του μοντέλου

Πίνακας 7: Γενικές Παράμετροι Συστήματος

Πίνακας 8: Ειδικές Παράμετροι Συστήματος

Πίνακας 9: Μετρικές Επιδόσεων της προσομοίωσης

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Παρόχων Σεναρίου

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Καταναλωτών Σεναρίου

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Αριθμητικής προσομοίωσης Ισοζυγίου Ισχύος

Πίνακας 13: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Παρόχων στο σενάριο

Πίνακας 14: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Καταναλωτών στο σενάριο

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Αριθμητικής προσομοίωσης Ισοζυγίου Ισχύος

Πίνακας 16: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Παρόχων στο σενάριο

Πίνακας 17: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Καταναλωτών στο σενάριο

1

Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Ιστορική Αναδρομή για την Παραγωγή και Διανομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ο ηλεκτρισμός ως πηγή ενέργειας για καταναλωτική χρήση καθώς και τα ανακύπτοντα θέματα για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησαν, ως πεδίο τεχνολογικών εφαρμογών από τη δεκαετία του 1880 και αργότερα. Εκείνη την εποχή άρχισε να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από σταθμούς παραγωγής για καταναλωτική χρήση. Αρχικά, η ηλεκτρική ενέργεια παραγόταν σε τοπική κλίμακα και οι σταθμοί παραγωγής της, βρίσκονταν αρκετά κοντά στα σημεία που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί, μειώνοντας έτσι την απόσταση και την ανάγκη για τεχνολογίες μετάδοσης της, με τα φαινόμενα που η μετάδοση συνεπάγεται. Τα πρώτα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α., μετέφεραν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κυρίως για χρήσεις φωτισμού [1] και όχι σε μεγάλες αποστάσεις. Η τεχνολογία φωτισμού της εποχής βασιζόταν σε λαμπτήρες πυρακτώσεως - τόξου και λειτουργούσε με πολύ υψηλή τάση της τάξης των 3000 Volts. Η μετάδοση του δικτύου διανομής χρησιμοποιούσε τόσο εναλλασσόμενο (AC) όσο και συνεχές ρεύμα (DC). Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως που λειτουργούσαν σε χαμηλή τάση, της τάξης των 100 Volts, βασιζόνταν αποκλειστικά σε συνεχές ρεύμα. Ο ηλεκτρικός φωτισμός αντικατέστησε τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού που μέχρι τότε βασιζόνταν σε αέριο. Ο ηλεκτρικός φωτισμός αρχικά αφορούσε στον ηλεκτροφωτισμό των κεντρικών δρόμων των περιοχών και πολύ λιγότερο στο φωτισμό των επιχειρήσεων ή/και των κατοικιών. Την εποχή εκείνη δεν υπήρχαν εφαρμογές για χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος για κίνηση και μετατροπή. Λόγω των υψηλών τάσεων που χρησιμοποιούνταν στις εφαρμογές φωτισμού, ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούσε να τροφοδοτήσει φορτία φωτισμού για κυκλώματα μήκους με συνδέσεις καλωδίων μέχρι και 7 μίλια (περίπου 11 km), διότι οι αναπτυσσόμενες πτώσεις τάσεως από τα καλώδια ήταν σημαντικές σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η προσπάθεια για αύξηση του μήκους διασύνδεσης του ηλεκτρικού κυκλώματος με διπλασιασμό του επιπέδου της τάσεως, επέτρεπε στο ίδιο καλώδιο να μεταδίδει ισχύ σε τετραπλάσια απόσταση. Ενδεικτικό των

προβλημάτων αυτών ήταν ότι ένας πρώτος σταθμός παροχής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος, ο Edison Pearl Street που κατασκευάστηκε το 1882, αντιμετώπιζε σημαντικές δυσκολίες για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων των καταναλωτών του, σε απόσταση μεγαλύτερη από ένα μίλι από τον σταθμό παραγωγής. Το κύριο πρόβλημα οφειλόταν στην τεχνολογία χαμηλής τάσης των 110 volts που έπρεπε να διασφαλιστεί από τη μετάδοση κατά μήκος όλου του συστήματος διασύνδεσης, από τις γεννήτριες μέχρι τον τελευταίο χρήστη της γραμμής διασύνδεσης. Το σύστημα αυτό, που βάσιζε τη μετάδοση ηλεκτρικής ισχύος στο συνεχές ρεύμα, χρειαζόταν χάλκινα καλώδια αγωγών μεγάλης διατομής για να μειώσει τις πτώσεις τάσεως κατά μήκος του κυκλώματος. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις παραγωγής έπρεπε να βρίσκονται σε απόσταση περίπου 1.5 μιλίου (περίπου 2.4 km) από τον πιο απομακρυσμένο καταναλωτή για να αποφύγουν τους υπερβολικά μεγάλους και ακριβούς αγωγούς.

Δεδομένου ότι ακόμη δεν είχαν αναπτυχθεί τεχνολογίες μετασχηματιστών, η μετατροπή των επιπέδων υψηλής τάσεως και ο υποβιβασμός της για εφαρμογές φωτισμού, αποτελούσε ένα σημαντικό εμπόδιο στη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο υποβιβασμός γινόταν κυρίως με κυκλώματα πατέντας, με όχι και τόσο ικανοποιητική απόδοση, που αναπτύσσονταν και δοκιμάστηκαν από τις ίδιες τις εταιρείες - παρόχους του ηλεκτροφωτισμού. Στα μέσα της δεκαετίας του 1880, αναπτύχθηκαν οι πρώτοι μετασχηματιστές, που βασίζονταν σε χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι μετασχηματιστές έλυσαν το πρόβλημα υποβιβασμού των επιπέδων τάσεως, μειώνοντας το κόστος μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Με την ανακάλυψη τους έγινε δυνατή, η κατασκευή σταθμών παραγωγής υψηλότερων επιπέδων ισχύος σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τα αστικά κέντρα, οι οποίοι ήταν ικανοί για την τροφοδότηση πόλεων και περιοχών σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτή η τεχνολογική ανακάλυψη συνέβαλλε καθοριστικά στην επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος, ως της επικρατέστερης μεθόδου για την διανομή ηλεκτρικής ισχύος, και την απόρριψη των αντίστοιχων τεχνικών που βασίζονταν στο συνεχές ρεύμα.

Στις Η.Π.Α., ο ανταγωνισμός των τεχνολογιών μεταξύ συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος πήρε μια προσωπική τροπή στα τέλη της δεκαετίας του 1880 με τη μορφή ενός "πόλεμου ρευμάτων". Ο υπέρμαχος του συνεχούς ρεύματος Thomas Edison επιτέθηκε με σφοδρότητα στον Nikola Tesla, ο οποίος θεμελίωσε με τις εφευρέσεις και τις ευρεσιτεχνίες του (πατέντες) το μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών εναλλασσόμενου ρεύματος. Στα εργαλεία αυτού του πολέμου χρησιμοποιήθηκε το γεγονός, ότι η ανάπτυξη των πρώτων συστημάτων μετασχηματιστών εναλλασσόμενου ρεύματος στις Η.Π.Α., προκάλεσε ένα πλήθος θανάτων από τα συστήματα υψηλής τάσης που τους χρησιμοποιούσαν. Αυτό οφειλόταν κυρίως στο γεγονός ότι οι άνθρωποι καθώς και οι τεχνικοί που εγκαθιστούσαν τα κυκλώματα δεν ήταν αρκετά εκπαιδευμένοι σε τεχνικό επίπεδο για τους κινδύνους ηλεκτροπληξίας από υψηλές τάσεις. Στόχος των "πολέμιων του εναλλασσόμενου ρεύματος", ήταν να αποδείξουν ότι οποιοδήποτε σύστημα AC ήταν εγγενώς επικίνδυνο. Τελικά, η προπαγανδιστική εκστρατεία του Edison δεν επικράτησε, καθώς όλοι διαπίστωσαν τα οφέλη από τα συστήματα μετάδοσης που βασίζονταν στο εναλλασσόμενο ρεύμα, οδηγώντας ακόμη και την εταιρεία του προηγούμενου να παραδεχθεί ότι τα συστήματα AC ήταν πολύ πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα συνεχούς ρεύματος, και να καταλήξει σε χρήση τους το 1892.

Η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) έγινε η κυρίαρχη τεχνολογία μετάδοσης ηλεκτρικής ισχύος. Οι νέες καινοτομίες στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. προσέθεσαν τους ηλεκτρικούς κινητήρες και την ανάπτυξη ηλεκτρο-μηχανικών συστημάτων μετατροπής. Τα συστήματα αυτά επέτρεψαν σε ένα μεγάλο αριθμό παλαιών μηχανικών συστημάτων με άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. ατμό) να συνδεθούν με τα μεγάλα AC δίκτυα παροχής ισχύος, παρέχοντας ολοένα και περισσότερες εφαρμογές.

Στο πρώτο μισό του 20ου αιώνα, η εξέλιξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αλματώδης. Σχεδόν καθολικά, η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας ήταν καθετοποιημένη. Η έννοια της καθετοποίησης σήμαινε ότι μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν επιφορτισμένη εκτός από την παραγωγή, με την μεταφορά, την διανομή, την καταμέτρηση και την τιμολόγηση της παρεχόμενης ισχύος από το δίκτυο της μέχρι και τους τελικούς καταναλωτές της.

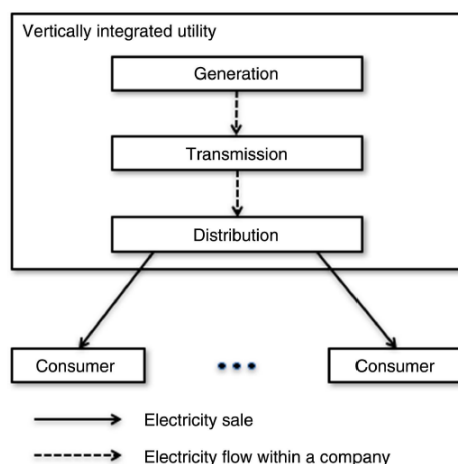
Στις δεκαετίες του 1970 και του 1980, τα κράτη ξεκίνησαν τη διαδικασία "απορρύθμισης και ιδιωτικοποίησης" της ηλεκτρικής αγοράς, ως τεχνική για την αποδόμηση του μοντέλου καθετοποιημένης παραγωγής. Αυτή η κατεύθυνση οδήγησε στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας [2]. Σε αυτήν την κατεύθυνση το σύστημα διανομής θα παρέμενε ως ανοικτό θέμα προς ρύθμιση. Τα συστήματα παραγωγής, λιανικής και μερικές φορές τα συστήματα μεταφοράς, μετατράπηκαν σε ανταγωνιστικές αγορές μέσω της εισαγωγής ιδιωτών. Επομένως στη σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, το μοντέλο που προέκυψε αφορά σε παράλληλες δράσεις πολλών εταιρειών, όπου η κάθε μία είναι επιφορτισμένη με την άσκηση ανεξάρτητων δραστηριοτήτων, μεταφοράς, διανομής, διασπώντας έτσι το παραδοσιακό καθετοποιημένο μοντέλο, προσδοκώντας σε εξειδικευμένες υπηρεσίες οι οποίες θα διασπούσαν τα μονοπώλια.

1.2 Το παραδοσιακό μοντέλο και η μετάβαση στην σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μία σε βάθος ανάλυση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντικό να εξετάσει τους διάφορους τρόπους οργάνωσής των διαδικασιών. Επιπλέον, πρέπει να αναλύσει τους τύπους εταιρειών και των οργανισμών που συμμετέχουν σε αυτές τις αγορές. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία και τα κίνητρα των συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σύγχρονες αγορές έχουν εξελιχθεί με διαφορετικούς ρυθμούς και κατευθύνσεις σε κάθε χώρα ή περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι συμμετέχοντες καθώς και οι ρόλοι τους στο μοντέλο, να διαφέρουν ανά περιοχή [4]. Στο παραδοσιακό μοντέλο της αγοράς, η αρχιτεκτονική του οποίου παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί, οι συναλλαγές περιορίζονται στους καταναλωτές που προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια από την τοπική επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παρουσιαζόμενη δομή διαθέτει δύο κύρια χαρακτηριστικά. Καταρχάς, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η εταιρεία παραγωγής κατέχει το μονοπώλιο στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Οι καταναλωτές, εφόσον επιθυμούν να προμηθευτούν ηλεκτρική ενέργεια, δεν έχουν εναλλακτική επιλογή παρόχου. Επομένως πρέπει να την προμηθευτούν από το εν λόγω μονοπώλιο του συγκεκριμένου παραγωγού. Δεύτερον, η λειτουργική δομή της περιγραφόμενης αγοράς είναι κάθετα ενσωματωμένη. Αυτό υποδηλώνει ότι ο παραγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας αναλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες περιλαμβάνουν:

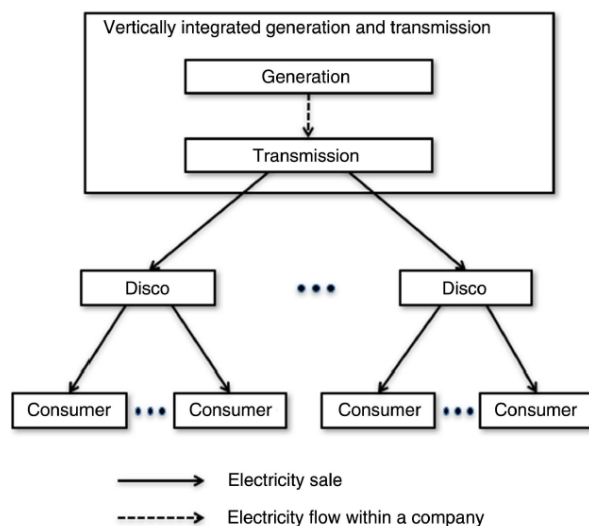
- την κατασκευή σταθμών παραγωγής,
- τη δημιουργία γραμμών μεταφοράς και δικτύων διανομής,
- τη διαχείριση αυτών των υποδομών με αξιόπιστο τρόπο,
- και τη χρέωση των καταναλωτών για τις υπηρεσίες που τους παρέχονται



Σχήμα 1: Παραδοσιακό μοντέλο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας [4]

Σε μια αρκετά συνηθισμένη παραλλαγή του παραδοσιακού μοντέλου, η οποία αποτελεί μία πρώτη μετεξέλιξη της, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα, η κάθετα ολοκληρωμένη υποδομή διαχωρίζεται σε δύο τμήματα:

- Ένας οργανισμός αναλαμβάνει την παραγωγή και τη μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εκτεταμένη περιοχή και την πωλεί σε πολλές εταιρείες διανομής (Distribution Companies - Discos),
- Κάθε μία από τις Discos διατηρεί το τοπικό μονοπώλιο στην περιοχή της, στην πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.



Σχήμα 2: Μοντέλο πρώτης μετεξέλιξης του παραδοσιακού μοντέλου παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [4]

Τα μονοπώλια κάθε είδους έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν την απουσία εναλλακτικών επιλογών για τους καταναλωτές τους. Επομένως είναι σε θέση να επιβάλλουν όποιες τιμές επιθυμούν για την κοστολόγηση των υπηρεσιών τους. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητο:

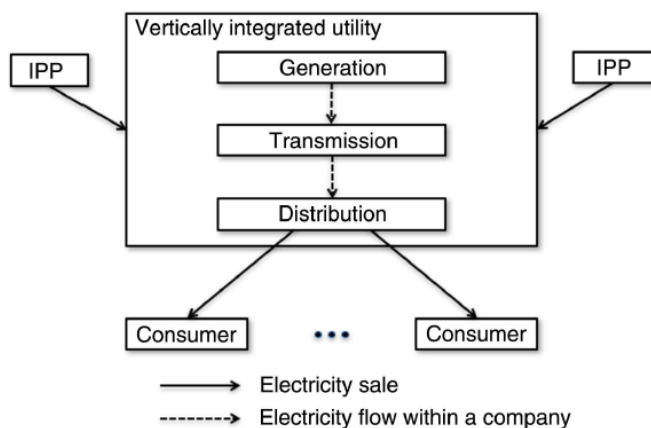
- είτε να είναι δημόσιοι φορείς που να ελέγχονται για την αποφυγή υπερβολικών τιμολογήσεων
- είτε να υπόκεινται σε εποπτεία από μια κρατική αρχή, γνωστή ως ρυθμιστική αρχή.

Στο παραδοσιακό μοντέλο, η ρυθμιστική αρχή επιβάλλει αυτό που ονομάζεται "ρυθμιστικό πλαίσιο". Αυτή η συμφωνία παρέχει σε μια εταιρεία κοινής ωφέλειας το αποκλειστικό δικαίωμα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, με αντάλλαγμα, η εταιρεία να συμφωνεί ότι οι τιμές πώλησης της θα καθορίζονται από τη ρυθμιστική αρχή. Επιπλέον η εταιρεία αποδέχεται ότι θα εξυπηρετεί όλους τους καταναλωτές στην περιοχή αυτή ανεξαιρέτως και ότι θα διασφαλίσει μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών.

Το προαναφερθέν μοντέλο δεν αποκλείει τις διμερείς συναλλαγές ενέργειας ανάμεσα σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που δραστηριοποιούνται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Οι συναλλαγές αυτές θα πρέπει να διεξάγονται σε επίπεδο χονδρικής αγοράς, μέσω διασυνδέσεων των δικτύων μεταφοράς των διαφορετικών παρόχων.

Το κύριο ζήτημα που ανακύπτει από το παραδοσιακό μοντέλο και τις όποιες παραλλαγές του, είναι ότι δεν διασπά το μοντέλο ενός μονοπωλίου. Τα μονοπώλια συχνά παρουσιάζουν αντιδράσεις σε μειώσεις των τιμών κοστολόγησης των υπηρεσιών τους, καθώς δεν προκύπτει ανάγκη ανταγωνισμού με άλλες εταιρείες ανάλογων δραστηριοτήτων. Επιπλέον, λόγω της αδιαφάνειας των δραστηριοτήτων τους, οι ρυθμιστικές αρχές αντιμετωπίζουν συχνά δυσκολίες στην εκτίμηση των τομέων όπου θα μπορούσαν να γίνουν βελτιώσεις στην παροχή των υπηρεσιών τους, δεδομένου ότι δεν έχουν σαφή ανάλυση κόστους των διεργασιών τους.

Ένα αρχικό βήμα προς την ανάπτυξη μιας πιο ανταγωνιστικής δομής του προηγούμενου μοντέλου, είναι η δυνατότητα σε άλλες εταιρείες, γνωστές ως ανεξάρτητοι παραγωγοί ενέργειας (Independent Power Producers - IPPs), να παράγουν ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών, από την υφιστάμενη κάθετα ολοκληρωμένη εταιρεία κοινής ωφέλειας [4].

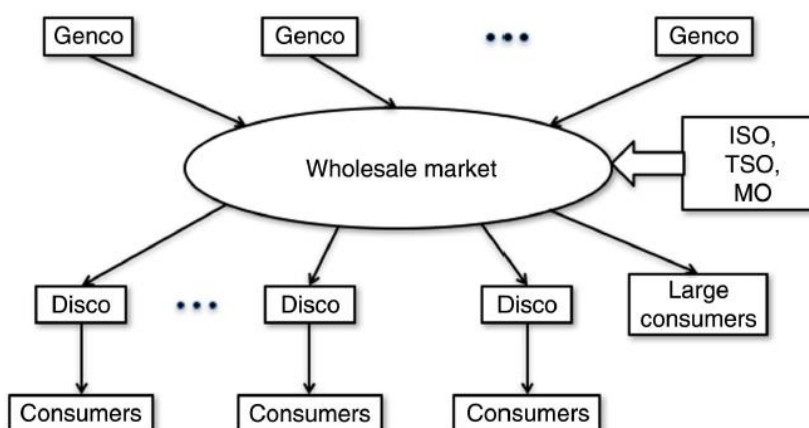


Σχήμα 3: Το Καθετοποιημένο μοντέλο σε συνεργασία με ανεξάρτητους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας (IPPs) [4]

Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται η συγκεκριμένη τροποποίηση του μοντέλου. Παρόλο που αυτό το μοντέλο εισάγει έναν βαθμό ανταγωνισμού στην παραγωγή, δεν παρέχει έναν μηχανισμό για την ανάλυση των τιμών που να αντικατοπτρίζει το κόστος παραγωγής της ενέργειας, όπως αυτό διαφαίνεται με διαφάνεια στην ελεύθερη αγορά.

Μία υφιστάμενη εταιρεία κοινής ωφέλειας επιδιώκει προφανώς να μειώσει το κέρδος της αγοράς ενέργειας των Ανεξάρτητων Παραγωγών (IPPs), με σκοπό να αποτρέψει την επέκταση της παραγωγικής τους ικανότητας και την συμμετοχή τους στην αγορά. Ως εκ τούτου, η εταιρεία κοινής ωφέλειας είναι αναγκαίο να υποχρεωθεί νομικά και να

εξαναγκαστεί να προμηθευτεί την ενέργεια που παράγεται από τους Ανεξάρτητους Παραγωγούς. Με εγγυημένο ότι η παραγωγή των Ανεξάρτητων Παραγωγών θα αγοραστεί, οι Ανεξάρτητοι Παραγωγοί θα επιδιώξουν να εξασφαλίσουν την υψηλότερη δυνατή τιμή πώλησης της προς την εταιρεία κοινής ωφελείας. Αυτό επιφορτίζει τη ρυθμιστική αρχή με την ευθύνη να καθορίσει με δίκαιο τρόπο την τιμή αγοράς (για την πώληση ενέργειας από τους ανεξάρτητους παραγωγούς προς την εταιρεία κοινής ωφελείας). Χωρίς επαρκείς και αξιόπιστες πληροφορίες, το αποτέλεσμα είναι συχνά οικονομικά αναποτελεσματικό. Ένα επιπλέον βήμα προς την κατεύθυνση των ανταγωνιστικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η αποδέσμευση τους από την υφιστάμενη εταιρεία κοινής ωφελείας. Όπως παρουσιάζεται και στο ακόλουθο σχήμα, όλες οι εταιρείες που διαθέτουν μονάδες παραγωγής μεγάλης κλίμακας ισχύος (Generation Companies - Gencos), θα μπορούν να ανταγωνίζονται με ίσους όρους στην πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4: Μετεξέλιξη μοντέλου ηλεκτρικής ενέργειας με Παραγωγούς Υψηλής κλίμακας Ισχύος [4]

Στο μοντέλο αυτό, οι εταιρείες διανομής προμηθεύονται την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτούν οι καταναλωτές τους από την χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές έχουν συχνά τη δυνατότητα να συμμετέχουν απευθείας σε αυτή την αγορά, χωρίς τη μεσολάβηση τρίτων (μεσαζόντων), επιτυγχάνοντας καλύτερες τιμές για την προμήθεια της ενέργειας κατανάλωσης. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, η χονδρική αγορά μπορεί να λειτουργεί:

- είτε με κεντρικό σύστημα
- είτε μέσω διμερών συναλλαγών

Στο πλαίσιο αυτό, η χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται από την αλληλεπίδραση της προσφοράς και της ζήτησης. Αντίθετα, η λιανική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να παραμένει ρυθμισμένη, καθώς κάθε εταιρεία διανομής διατηρεί το τοπικό μονοπώλιο στην πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου της, δημιουργώντας με την νέα αποδόμηση σύγχρονα τοπικά μονοπώλια τα οποία πρέπει και πάλι να διασπαστούν.

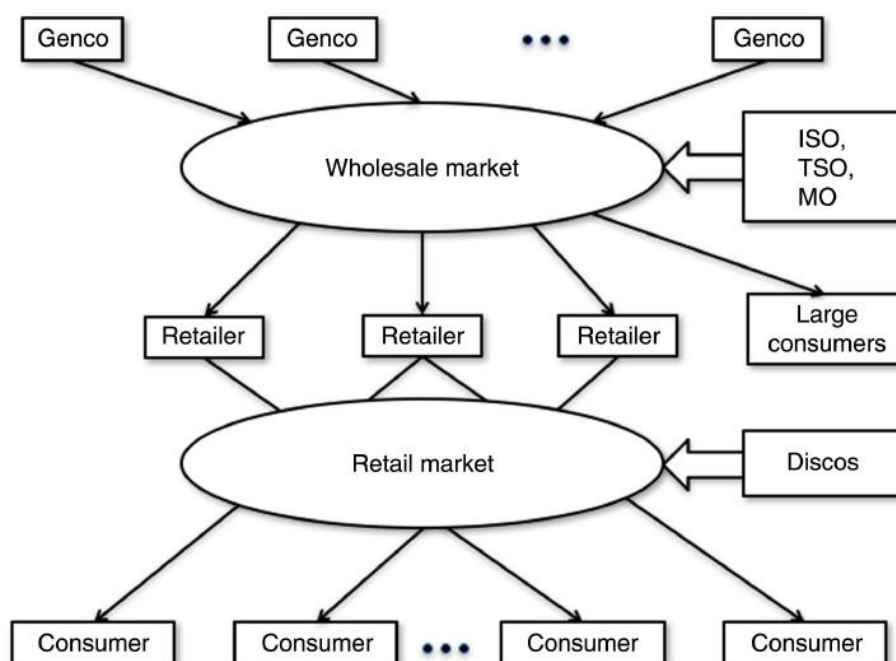
Όταν η χονδρική αγορά λειτουργεί με κεντρικό τρόπο, είναι απαραίτητο να ιδρυθεί ένας οργανισμός που ονομάζεται Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος (Independent System Operator - ISO). Ο ρόλος του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Συστήματος περιλαμβάνει δύο βασικές λειτουργίες:

- Διαχείριση της αγοράς με αμεροληψία και αποτελεσματικότητα, και
- Ανάλυση της ευθύνης για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς.

Όπως υποδηλώνει και ο τίτλος του, για να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη στη λειτουργία της αγοράς, ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος πρέπει να είναι θεσμικά ανεξάρτητος από όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε μια διμερή χονδρική αγορά, αυτές οι λειτουργίες συχνά κατανέμονται σε έναν ή περισσότερους διαχειριστές αγοράς (Market Operators - MOs), οι οποίοι διευκολύνουν τις εμπορικές συναλλαγές μεταξύ αγοραστών και πωλητών ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, απαιτείται και η παρουσία ενός διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (Transmission System Operator - TSO), ο οποίος διασφαλίζει την ηλεκτρική ευστάθεια του συστήματος.

Ο ανωτέρω περιγραφόμενος ανταγωνισμός, μπορεί να εισέλθει και στην αγορά λιανικής πώλησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δομή που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5: Οι εταιρείες λιανικής πώλησης στο μοντέλο της Ηλεκτρικής αγοράς [4]

Στο μοντέλο αυτό, οι λιανικοί πωλητές προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια από τη χονδρική αγορά και στη συνέχεια την μεταπωλούν σε μικρομεσαίους καταναλωτές. Οι δραστηριότητες των εταιρειών διανομής σε αυτό το μοντέλο συνήθως διαχωρίζονται από τις δραστηριότητες της λιανικής πώλησης. Αυτό συμβαίνει διότι δεν κατέχουν πλέον τοπικό μονοπώλιο στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή που εξυπηρετούν. Σε αυτή την περίπτωση, είναι προφανές ότι η χονδρική αγορά λειτουργεί μέσω του δικτύου μεταφοράς, ενώ η λιανική πώληση πραγματοποιείται μέσω του δικτύου διανομής. Η κατασκευή και η λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής παραμένουν μονοπωλιακές δραστηριότητες. Αυτό οφείλεται στην κοινή αποδεκτή διαπίστωση ότι η δημιουργία ανταγωνιστικών παράλληλων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν οικονομικά ασύμφορη. Ως εκ τούτου, η ρυθμιστική αρχή καθορίζει ποιες επενδύσεις σε περιουσιακά στοιχεία δικτύου είναι δικαιολογημένες και πώς θα πρέπει να κατανεμηθεί το κόστος αυτών των επενδύσεων στους χρήστες των δικτύων.

Το μοντέλο προβλέπει ότι μετά τη δημιουργία επαρκώς ανταγωνιστικών αγορών, η ρύθμιση της τιμής λιανικής πώλησης δεν θα είναι πλέον απαραίτητη. Οι μικροί καταναλωτές θα

έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν άλλους προμηθευτές εφόσον αυτοί τους προσφέρουν καλύτερες τιμές ή υπηρεσίες. Από οικονομική άποψη, αυτό είναι επιθυμητό, διότι οι αλληλεπιδράσεις στην αγορά συμβάλλουν στην δημιουργία συμφερότερων τιμών. Παρά τα υποτιθέμενα πλεονεκτήματα, το ρυθμιζόμενο μονοπωλιακό μοντέλο παρουσιάζει αρκετές αδυναμίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τα εξής [3]:

- Υπερβολική επένδυση στη βάση των τραπεζικών επιτοκίων
- Εγγύηση ασφάλειας στην παρεχόμενη ενέργεια
- Οικονομικοί κίνδυνοι για τους καταναλωτές λόγω της διαμόρφωσης μονοπωλιακού κόστους
- Πιθανή έλλειψη επιλογών για τους καταναλωτές
- Ανισότητα στις τιμές ενέργειας που προσφέρονται στους καταναλωτές
- Αδυναμία επιδότησης των τιμών

Από την άλλη πλευρά, το ρυθμιζόμενο μοντέλο διαθέτει μια σειρά από επιπλέον χαρακτηριστικά και παρεμβάσεις που ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα και τη διαφάνεια των τιμών ενέργειας:

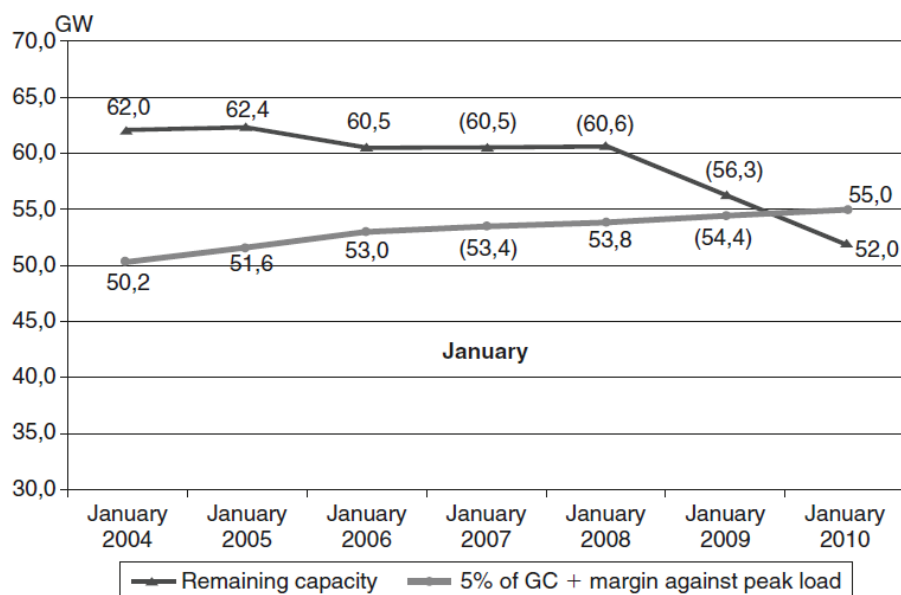
- Επαρκή επίπεδα ισχύος
- Επιρροή από πολιτικές και κυβερνητικούς φορείς
- Επιρροή για την προώθηση της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή
- Ενεργοποίηση δημόσιων φορέων ως ρυθμιστικών αρχών για την παρακολούθηση της αγοράς

Σε ένα πλήρως "απορρυθμισμένο" μοντέλο παραγωγής ενέργειας, όπου οι καθετοποιημένες βοηθητικές υπηρεσίες συχνά διακόπτονται, μπορεί να παρατηρηθεί περιορισμένος συντονισμένος σχεδιασμός. Το προκύπτον ζήτημα είναι ιδιαίτερα επείγον λόγω της διαίρεσης του σχεδιασμού παραγωγής και μετάδοσης της ενέργειας. Αυτή η διαίρεση πλέον υφίσταται σε διαφορετικές, συχνά ανταγωνιστικές, εταιρείες. Επιπλέον, σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, ενδέχεται να υπάρχουν ισχυρές αντιστάσεις στην επικοινωνία και τον συντονισμό των δομών μεταξύ τους.

Η Βόρεια Αμερική αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα των προαναφερθέντων διαδικασιών, με τους πρόσφατους κύκλους "άνθησης και ύφεσης" στις επενδύσεις δυναμικότητας, οι οποίοι ενδέχεται να έχουν επιδεινωθεί λόγω της εισόδου του ανταγωνισμού στη χονδρική αγορά. Στο πρόσφατο παρελθόν, παρατηρήθηκαν σημαντικές υπερβολές στην παραγωγική ικανότητα σε ορισμένες περιοχές, ακολουθούμενες από πτώσεις στις τιμές χονδρικής. Ο ανταγωνισμός στη χονδρική αγορά έχει επίσης κατηγορηθεί για την αύξηση των προβλημάτων μετάδοσης και των προβλημάτων συμφόρησης στα δίκτυα διανομής. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το αποτέλεσμα ήταν η παροχή ικανοποιητικών υπηρεσιών σε τοπικό επίπεδο, ενώ σε άλλες περιοχές διαπιστώθηκαν ελλείψεις ενέργειας. Σε ορισμένες περιοχές, ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός πόρων έχει καταστεί χαοτικός, με ανησυχίες σχετικά με την ευθύνη διαχείρισης και τη διατήρηση επαρκών περιθωρίων αποθεματικής ισχύος. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε θέματα όπως ο εντοπισμός και η ποσοτικοποίηση.

Στην περίπτωση της Ευρώπης, η εφαρμογή του ανταγωνισμού σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 1996, είχε οδηγήσει σε μείωση του ενδιαφέροντος για επενδύσεις στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Αυτή η κατάσταση έχει ενισχύσει τη σημασία της έννοιας της "ασφάλειας εφοδιασμού και παροχής ισχύος". Το ζήτημα αυτό αποτελεί αντικείμενο εκτενούς μελέτης, ιδιαίτερα στη Γερμανία. Σύγχρονες προβλέψεις

στην Ευρώπη υποδεικνύουν πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν σχετικά με την επάρκεια εφοδιασμού.



Σχήμα 6: Διάγραμμα εγκατεστημένης ισχύος και ζήτησης αιχμής (GW) για την Ευρώπη 2004 – 2010 [3]

Οι νέες συνθήκες δημιουργούν ένα πεδίο δοκιμής για την απελευθερωμένη αγορά ενέργειας, με σκοπό να εξεταστεί αν θα υπάρξει ανάπτυξη επιπλέον δυναμικότητας παραγωγής στο νέο πλαίσιο που προκύπτει από την οδηγία.

1.3 Το Ελληνικό Μοντέλο Παραγωγής και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

Η οργάνωση του Κλάδου Διανομής της Δ.Ε.Η. (Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού), καθορίστηκε το 1950, κατά την ίδρυση της εταιρείας. Σύμφωνα με τις προτάσεις της Αμερικανικής εταιρείας EBASCO, η οποία υλοποίησε το αρχικό Πρόγραμμα έργων Παραγωγής – Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για την περίοδο 1950 - 55, η οποία και πρότεινε τη συνολική οργάνωση της ΔΕΗ. Επίσης, προτάθηκε η ίδρυση 5 έως 7 Περιφερειακών Οργανισμών Διανομής για τη συνολική λειτουργία της αγοράς. Οι εν λόγω δομές θα αναλάμβαναν την ευθύνη της Διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελληνική Επικράτεια.

Οι προτεινόμενοι οργανισμοί θα είχαν τη μορφή Ανωνύμων Εταιρειών. Σε αυτούς τους οργανισμούς αρχικά θα συμμετείχαν οι ιδιοκτήτες των περίπου 400 Ηλεκτρικών Εταιρειών που παρείχαν ηλεκτρική ενέργεια στους τοπικούς σταθμούς και τα αντίστοιχα δίκτυα που ήταν υφιστάμενοι στην επικράτεια. Η συμμετοχή τους στις νέες εταιρείες θα ήταν αναλογική με την αξία των εγκαταστάσεών τους. Επιπλέον, ως μέτοχοι στους προβλεπόμενους οργανισμούς μπορούσαν να είναι οι Δήμοι καθώς και απλοί ιδιώτες - επενδυτές. Στη διαδικασία αυτή συμμετείχε και η ΔΕΗ, από την οποία θα προμηθεύονταν την ηλεκτρική ενέργεια ως ο αποκλειστικός παραγωγός του σχήματος. Ωστόσο, υπήρξαν σοβαρές αντιδράσεις, με κύριο αίτημα τη διατήρηση του υφιστάμενου καθεστώτος διαχείρισης. Αυτό είχε ως συνέπεια να καθυστερεί τον εξηλεκτρισμό της Ελλάδας για κάλυψη της συνολικής επικράτειας. Με τη σειρά του αυτό οδηγούσε σε καθυστέρηση των

έργων Παραγωγής και Μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά προχωρούσαν σύμφωνα με το Πρόγραμμα Ανάπτυξης 1950 - 55. Για τον λόγο αυτό η κυβέρνηση της εποχής, προχώρησε στην ψήφιση του νόμου 3523/1956. Ο νόμος προέβλεπε ότι από 1/8/1956 θα έλγαν όλες οι Συμβάσεις και οι αντίστοιχες Άδειες που είχε παραχωρήσει το Ελληνικό Δημόσιο, στους μικρούς παρόχους, με στόχο την ανάπτυξη του αποκλειστικού παρόχου ενέργειας στην επικράτεια, δηλαδή της ΔΕΗ.

Οι αρχικές αντιδράσεις που εκδηλώθηκαν, υποχώρησαν γρήγορα με τα πρώτα στοιχεία που παρουσίασε η ΔΕΗ, καθώς και με την ομόφωνη υποστήριξη του κοινού. Έτσι, μέχρι το 1963 είχαν εξαγοραστεί 406 επιχειρήσεις από το σύνολο των 415 που δραστηριοποιούνταν ανεξάρτητα στην παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβανόταν και η Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών – Πειραιώς, η οποία ήταν μία εταιρεία αγγλικών συμφερόντων. Κατά την περίοδο 1956 – 1963, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 240%. Η εγκατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου από τη ΔΕΗ συνεχίστηκε και στα επόμενα χρόνια. Αυτό συνέβη παρά τις δυσλειτουργίες που άρχισαν να διαφαίνονται στη λειτουργία της, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης κρατικής παρέμβασης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι αυτές οι παρεμβάσεις παραβίαζαν τις διατάξεις του ιδρυτικού της νόμου και καταστατικού, ο οποίος προέβλεπε την πλήρη διοικητική και οικονομική αυτονομία της. Ταυτόχρονα, υπήρχε συνεχής προβληματισμός από τους αρμόδιους φορείς σχετικά με την οργανωτική δομή και τη λειτουργία των περιφερειακών μονάδων της Διανομής, με τις προσαρμογές να γίνονται βάσει εισηγήσεων των κεντρικών υπηρεσιών.

Ένα σημαντικό βήμα στην ενίσχυση του ρόλου της Διανομής και στην πρόοδο των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, υπήρξε η συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή της Διανεμημένης Παραγωγής κατά τη δεκαετία του 1990. Αυτό κυρίως σχετιζόταν με την ένταξη στο εθνικό δίκτυο, μικρών μονάδων παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Έτσι, πέρα από την κύρια πηγή τροφοδότησης των καταναλωτών μέσω του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Παραγωγής – Μεταφοράς, εμφανίστηκαν και πολλές άλλες μικρές πηγές παραγωγής. Αυτή η εξέλιξη έδωσε τη δυνατότητα στους καταναλωτές να γίνουν και παραγωγοί. Ως αποτέλεσμα, ο έλεγχος της λειτουργίας των Δικτύων Διανομής άρχισε να καθίσταται πιο περίπλοκος και να απαιτεί την ενίσχυση ή και την εφαρμογή νέων μεθόδων ελέγχου.

Ο εκσυγχρονισμός των δικτύων Διανομής απαιτεί σημαντικές επενδύσεις. Ως εκ τούτου, η μητρική ΔΕΗ και ο ΔΕΔΔΗΕ αντιμετώπισαν σοβαρές οικονομικές και διαχειριστικές προκλήσεις. Για την επίλυση αυτών των ζητημάτων, άρχισε να διαφαίνεται ότι η συμμετοχή ιδιωτικών κεφαλαίων (ιδιωτικοποίηση) ήταν απολύτως αναγκαία. Ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί στα δίκτυα Διανομής. Τα δίκτυα αυτά, σε αντίθεση με τα δίκτυα Μεταφοράς, συνδέονται άμεσα με τις ιδιαιτερότητες κάθε χώρας και την ιστορία της ανάπτυξής τους. Αυτό εξηγεί τη διαφορετική μορφή και οργάνωση των δικτύων Διανομής σε εθνικό επίπεδο. Στην Ελλάδα, λόγω της προαναφερθείσας ιστορίας, υπάρχει ένα ομοιόμορφο δίκτυο Διανομής, το οποίο αποτέλεσε ένα σαφές πλεονέκτημα στη διάσπαση του μοντέλου καθετοποιημένης λειτουργίας. Αυτή η ιδιαιτερότητα έχει μεγάλη σημασία και είναι σκόπιμο να διατηρηθεί και να συστηματοποιηθεί με τις απαραίτητες προσαρμογές που θα γίνουν στο πλαίσιο του εκσυγχρονισμού στο άμεσο μέλλον.

1.4 Προβλήματα και Θέματα στο εκσυγχρονισμένο μοντέλο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πριν από τις αναδιαρθρωτικές εξελίξεις των δεκαετιών 1980 και 1990, η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας (Electricity Supply Industry - ESI) ήταν κατά κύριο λόγο οργανωμένη και λειτουργούσε υπό μία από τις ακόλουθες δομές [3]:

- Ως κρατική επιχείρηση (State Owned Enterprises - SOE) ή
- ως ιδιωτική εταιρεία - μονοπώλιο.

Στην πρώτη περίπτωση, συνήθως δεν υπήρχε ανεξάρτητος ρυθμιστικός φορέας, αλλά ένα ειδικό τμήμα της κυβέρνησης (όπως το Υπουργείο Οικονομικών), το οποίο είχε τη δυνατότητα να ασκεί ρυθμιστική εποπτεία ή να παρέχει χρηματοοικονομικές ή καταπιστευτικές πολιτικές, όποτε η εταιρεία χρειαζόταν κεφάλαια για επενδύσεις και εξέλιξη του δικτύου της. Αυτό το μοντέλο λειτουργίας παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες:

- Οι φορολογούμενοι σε μια κρατική οντότητα συχνά αναλαμβάνουν τους μεγαλύτερους επενδυτικούς κινδύνους
- Για αυτές τις επενδύσεις μπορεί να υπάρχει έλλειψη λογοδοσίας, καθώς η κρατική υπηρεσία δεν είναι άμεσα υπεύθυνη και υπόλογη απέναντι στους καταναλωτές ή τους μετόχους
- Σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να παρατηρηθεί μια κυκλικότητα. Διαφορετικά τμήματα της κυβέρνησης ασχολούνταν με ποικίλους τομείς, όπως οι προβλέψεις ζήτησης, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η επένδυση και η λειτουργία, η διαχείριση του δικτύου, η ρύθμιση και η είσπραξη των λογαριασμών λιανικής
- Οι κρατικές επιχειρήσεις ενδέχεται να μην είναι ιδιαίτερα "ευαίσθητες" στις ανάγκες των καταναλωτών και να μην έχουν επαρκή κίνητρα για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης ή την τεχνολογική καινοτομία
- Στις περιπτώσεις πολλών ταχέως αναπτυσσόμενων οικονομιών, η κεντρική κυβέρνηση μπορεί να μην διαθέτει τους απαραίτητους πόρους για επενδύσεις σε υποδομές, με αποτέλεσμα να προκύπτουν χρόνιες ελλείψεις ηλεκτρικής ενέργειας και υπηρεσίες με χαμηλή αξιοπιστία

Στις ιδιωτικές εταιρείες που λειτουργούν ως μονοπώλια, παρατηρείται ότι αυτές κυριαρχούν κυρίως στις ανεπτυγμένες οικονομίες. Ο ιδιωτικός τομέας έχει την ευθύνη και τη διαχείριση ορισμένων ή σημαντικών τμημάτων της Ηλεκτρικής Βιομηχανίας Παραγωγής (ESI), υπό την εποπτεία μιας ανεξάρτητης ρυθμιστικής αρχής. Αυτά τα μονοπώλια, υπό την προαναφερθείσα ρύθμιση, ενδέχεται να προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις κρατικές επιχειρήσεις που λειτουργούν με κεντρικό σχεδιασμό. Τα πλεονεκτήματα αυτά γίνονται πιο εμφανή όταν υπάρχει ένας σαφώς καθορισμένος και ανεξάρτητος ρυθμιστής που παρακολουθεί τη λειτουργία τους:

- Θεωρητικά τουλάχιστον, αυτό το μοντέλο θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί τις οικονομίες κλίμακας που προκύπτουν από τα μεγάλα και κάθετα ολοκληρωμένα μονοπώλια, προκειμένου να ελέγξει τυχόν καταχρηστικές πρακτικές
- Τα μονοπωλιακά καθεστώτα υπό την προαναφερθείσα ρύθμιση μπορούν να προσφέρουν έναν βαθμό σταθερότητας στις τιμές της αγοράς, ενώ παράλληλα προάγουν τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό. Σε ορισμένες χώρες, αυτό το μοντέλο έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό

1.5 Η ιδιωτικοποίηση στην σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε πολλές χώρες, η εισαγωγή του ανταγωνισμού στην παραγωγή και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας συνοδεύτηκε από την ιδιωτικοποίηση ορισμένων ή όλων των δομών της παραγωγής. Η ιδιωτικοποίηση ορίζεται ως η "διαδικασία μεταβίβασης των δημόσιων επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, μέσω πώλησης από το κράτος, σε ιδιώτες επενδυτές" [4]. Οι δομές αυτές στη συνέχεια μετατρέπονται σε ιδιωτικές - κερδοσκοπικές εταιρείες. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η ιδιωτικοποίηση δεν είναι απαραίτητη ή/και προϋπόθεση για την ανάπτυξη του ανταγωνισμού στον τομέα της ενέργειας. Κανένα από τα μοντέλα ανταγωνισμού που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δεν προϋποθέτει κάποια μορφή ιδιοκτησίας. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να λειτουργούν παράλληλα με ιδιωτικές εταιρείες σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Επομένως, η διαδικασία εκσυγχρονισμού μέσω ιδιωτικοποιήσεων δεν θα πρέπει να αποκλείσει ένα δημόσιο - κρατικό πάροχο ενέργειας από την αγορά.

1.6 Η Ευρωπαϊκή προσέγγιση για την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ο ορισμός της ενεργειακής ασφάλειας προϋποθέτει τη σύνθεση των εννοιών της "εθνικής ασφάλειας" και της "διαθεσιμότητας φυσικών πόρων" για την κατανάλωση ενέργειας. Η πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ενέργεια έχει καταστεί θεμελιώδης προϋπόθεση για τη λειτουργία των σύγχρονων οικονομιών. Ωστόσο, η άνιση κατανομή του ενεργειακού πλούτου και εφοδιασμού ανάμεσα στις χώρες, έχει προκαλέσει σοβαρές συνέπειες στις διακρατικές συμφωνίες - συνεργασίες. Οι διεθνείς ενεργειακές σχέσεις έχουν συμβάλει στην παγκοσμιοποίηση της αγοράς ενέργειας, η οποία με τη σειρά της οδηγεί ταυτόχρονα σε ενεργειακή ασφάλεια αλλά και ενεργειακή ευπάθεια [6].

Ο σύγχρονος κόσμος εξαρτάται από μια εκτενή παροχή ενέργειας για να υποστηρίξει όλες τις δραστηριότητες του, από τις μεταφορές και τις επικοινωνίες έως τα συστήματα ασφάλειας και υγειονομικής περίθαλψης. Σύμφωνα με τον Michael Ruppert, για κάθε θερμίδα τροφής που παράγεται στον σύγχρονο βιομηχανικό τομέα, απαιτούνται δέκα θερμίδες ενέργειας από πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Αυτή η ενέργεια επενδύεται σε λιπάσματα, φυτοφάρμακα, συσκευασίες, μεταφορές και τη λειτουργία του γεωργικού εξοπλισμού για την γεωργική παραγωγική αλυσίδα.

Η ενέργεια έχει καθοριστική σημασία για την εθνική ασφάλεια κάθε χώρας, καθώς αποτελεί την βάση που τροφοδοτεί την οικονομική δραστηριότητα της. Ορισμένοι τομείς εξαρτώνται από την ενέργεια σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με άλλους. Για παράδειγμα, το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών εξαρτάται από το πετρέλαιο για περίπου το 77% των ενεργειακών του αναγκών. Οι απειλές για την ενεργειακή ασφάλεια περιλαμβάνουν:

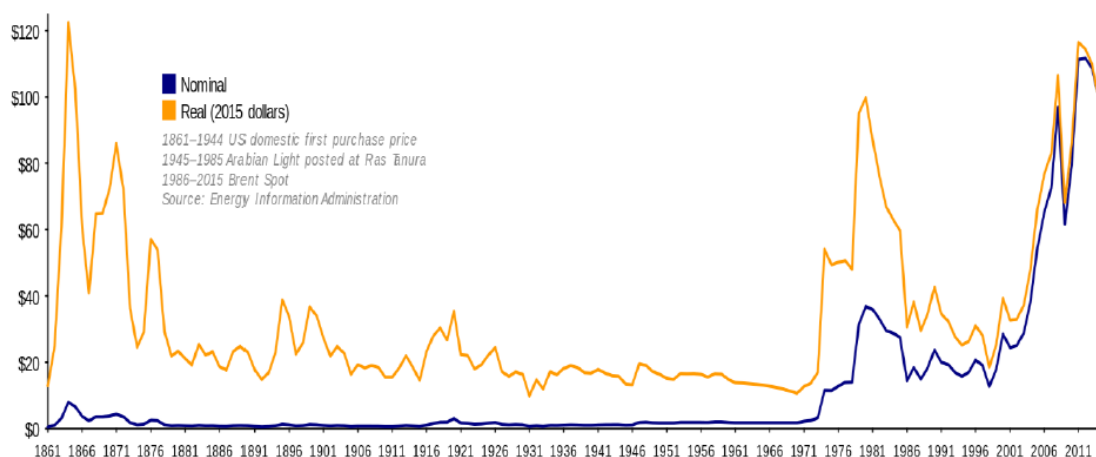
- την πολιτική αστάθεια σε πολλές χώρες παραγωγής ενέργειας
- τη χειραγωγή του ενεργειακού εφοδιασμού
- τον ανταγωνισμό για ενεργειακές πηγές
- επιθέσεις σε υποδομές εφοδιασμού, καθώς και
- ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, τρομοκρατία, κυβερνο-επιθέσεις και εξάρτηση από ξένες χώρες

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) αναγνωρίζει ως κρίσιμη προϋπόθεση για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης Αγοράς Ενέργειας, την ικανότητα εξασφάλισης της παροχής απρόσκοπτης ενέργειας μέσω ενός ενιαίου πλαισίου ανταγωνιστικής αγοράς. Η ενοποιημένη αγορά θα διασφαλίσει:

- την ίση πρόσβαση στα ενεργειακά δίκτυα
- θα εγγυάται την πρόσβαση στις πηγές και τις διαδρομές ενέργειας, και
- θα επιλύει οργανωμένα τα προβλήματα και τις διαταραχές που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας των δικτύων

Η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού αποτελεί έναν σημαντικό στρατηγικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αντιμετωπίζοντας το ζήτημα της ενεργειακής εξάρτησης των κρατών - μελών της Ευρώπης.

Η οικονομία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αγορές πετρελαίου και ορυκτών καυσίμων. Οι διακυμάνσεις στις τιμές τους, καθώς και οι εμπορικοί περιορισμοί (εμπάργκο), έχουν άμεσες συνέπειες στις λειτουργίες και τις τιμές που διαμορφώνονται στις Ευρωπαϊκές αγορές. Ειδικότερα, αναλύοντας ιστορικά το εμπάργκο που επιβλήθηκε στις χώρες του ΟΠΕΚ το 1973, αυτό οδήγησε σε σημαντική αύξηση των τιμών του πετρελαίου και των παραγώγων του, από 2.5 σε 12 δολάρια το βαρέλι.



Σχήμα 7: Διακύμανση της τιμής του πετρελαίου για το διάστημα 1861 – 2015 [6]

Η επίδραση αυτής της μεταβολής της τιμής του πετρελαίου ήταν καθοριστική, αναδεικνύοντας το ζήτημα της ενεργειακής εξάρτησης από τις πηγές υδρογονανθράκων, τόσο για την παραγωγή ενέργειας όσο και για τη λειτουργία της βιομηχανίας παραγωγής νέων προϊόντων και μεταποιητικής βιομηχανίας. Το κραχ που σημειώθηκε το 1973, εξαιτίας της αύξησης των τιμών του πετρελαίου, είχε σοβαρές επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία. Το κραχ επέδρασε σημαντικά και στα χρηματιστήρια κατά την περίοδο 1973 – 1974. Τα ιστορικά δεδομένα από τις διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου προσέφεραν μια νέα κατεύθυνση για την απεξάρτηση των οικονομιών από το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας.

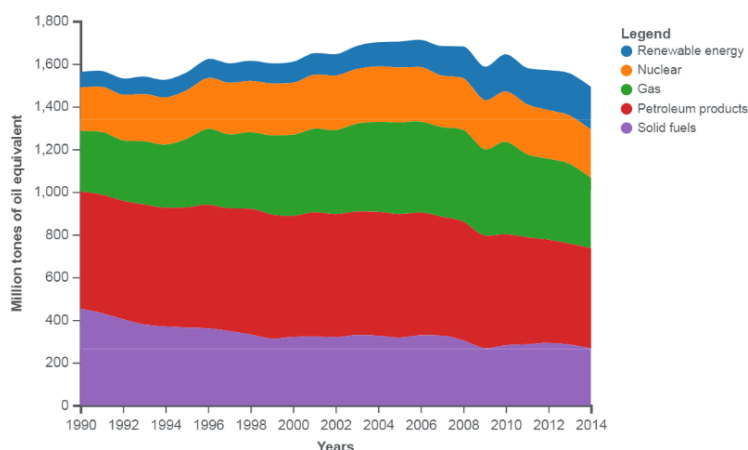
Στις αρχές της ίδιας χρονιάς ιδρύθηκε ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency – IEA). Ο σκοπός αυτής της ίδρυσης ήταν η αντιμετώπιση της κρίσης. Ωστόσο, οι πρωτοβουλίες που ανέλαβε ο οργανισμός απέτυχαν στην πράξη, λόγω της έλλειψης κοινής και συντονισμένης πολιτικής και στόχων. Οι χώρες - μέλη της ΕΕ αντέδρασαν σπασμωδικά και σε εθνικό επίπεδο. Αρχικά προσπάθησαν να εξασφαλίσουν καλύτερη πρόσβαση και αποθέματα στις αγορές ενέργειας, ανάλογα με τις ιδιαίτερες

συνθήκες που επικρατούσαν για κάθε μία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η Ολλανδία εκείνη την περίοδο βρισκόταν σε πολύ καλύτερη θέση, αφού έκανε χρήση φυσικού αερίου ως πηγή ενέργειας, σε σύγκριση με τις οικονομίες της Μεγάλης Βρετανίας και της Γαλλίας των οποίων οι οικονομίες βασιζόνταν περισσότερο στις αγορές πετρελαίου.

Το 1974, οι χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο πλαίσιο μιας συλλογικής προσπάθειας, υιοθέτησαν μια νέα στρατηγική, γνωστή ως "Νέα Στρατηγική". Στόχος της ήταν ο εξορθολογισμός της ενεργειακής χρήσης και η αξιοποίηση των εγχώριων πόρων ενέργειας που διαθέτει κάθε κράτος για την κάλυψη των συνολικών ενεργειακών αναγκών του. Αυτό περιλάμβανε τη χρηματοδότηση:

- ερευνητικών προγραμμάτων προς αυτήν την κατεύθυνση
- υιοθέτηση και χρήση πυρηνικής ενέργειας
- ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και
- εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Επιπλέον, δόθηκαν συγκεκριμένες οδηγίες και κατευθύνσεις προς τα κράτη - μέλη για την αποθήκευση ενέργειας. Η αποθήκευση ενέργειας βασιζόταν κυρίως σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, με στόχο τη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ως καύσιμα.



Σχήμα 8: Μίγμα Παραγωγής ενέργειας από διαφορετικές πηγές καυσίμων [19]

Οι κρίσεις μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας το 2006, το 2009 και το 2022 προσέφεραν μια επιπλέον διάσταση στην προσπάθεια επίλυσης των ενεργειακών εξαρτήσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τα ορυκτά καύσιμα. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, οι ενεργειακές ανάγκες της Ε.Ε. είχαν αυξηθεί περαιτέρω, προκαλώντας δυσκολίες στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών εφοδιασμού. Ως εκ τούτου, η προσπάθεια για την ενεργειακή εναρμόνιση των κρατών - μελών της Ε.Ε. και η ενεργειακή απεξάρτηση έχουν αναδειχθεί σε ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα τα τελευταία χρόνια.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από καύσιμα κορυφώθηκε το 2006 και από τότε έχει υποστεί μείωση της τάξεως του 12%.

1.6.1 Η Ευρωπαϊκή εσωτερική Αγορά και τα ιστορικά βήματα που συνετέλεσαν στη διαμόρφωση της

Η δεκαετία του 1970 υπήρξε καθοριστική, καθώς περιλάμβανε μια σειρά σημαντικών γεγονότων που επηρέασαν τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τη στάση στην παραγωγή και τη διανομή της ενέργειας μεταξύ των κρατών - μελών της. Τα γεγονότα που συνέβαλαν σε οικονομικό επίπεδο για την προώθηση της λήψης αποφάσεων είναι τα εξής [6]:

- Τερματισμός του Διεθνούς Νομισματικού Συστήματος (Bretton Woods)
- Αποτυχία της προσπάθειας Νομισματικής Ενοποίησης
- Πετρελαϊκή Κρίση

Τον Μάιο του 1980, πραγματοποιήθηκε το πρώτο βήμα για τον καθορισμό μιας πολιτικής κατεύθυνσης, μέσω της Ανακοίνωσης που αφορούσε στην ανάπτυξη μιας ενιαίας στρατηγικής στον τομέα της ενέργειας. Η ανακοίνωση καθόρισε τις κατευθυντήριες γραμμές και τα σημεία προτεραιότητας για την υλοποίηση δράσεων στους εξής τομείς:

- Προώθηση των επενδύσεων στην παραγωγή ενέργειας
- Ενίσχυση της διαφάνειας
- Εφαρμογή μηχανισμών για τον έλεγχο και τη μείωση της ενεργειακής αστάθειας
- Ανάπτυξη και πρόοδος της ενεργειακής τεχνολογίας

Τον Ιούλιο του 1985, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προχώρησε σε ένα ακόμη βήμα προς την κατεύθυνση της ολοκλήρωσης της ευρωπαϊκής αγοράς, εκδίδοντας τη "Λευκή Βίβλο". Ο κύριος στόχος ήταν η δημιουργία μιας Ενιαίας Αγοράς Ενέργειας. Το έγγραφο περιλάμβανε 279 άρθρα - μέτρα που αποσκοπούσαν στην προώθηση αυτής της διαδικασίας.

Η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη, η οποία εκδόθηκε το 1986, τέθηκε σε εφαρμογή την 1η Ιουλίου 1987 και αποτέλεσε την συνέχεια των προηγούμενων προσπαθειών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρά την πλούσια ποικιλία δράσεων και κατευθύνσεων, η "Λευκή Βίβλος" δεν περιλάμβανε μέτρα σχετικά με την ενέργεια. Το κείμενο συμπληρώθηκε με ειδική προσθήκη που διαμόρφωσε πλαίσια για τη δημιουργία μιας ενιαίας ενεργειακής αγοράς. Ωστόσο, τα εθνικά ενεργειακά μονοπώλια της δεκαετίας του 1980 αποτελούσαν σημαντικό εμπόδιο στην ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας. Επομένως πρωτίστως απαιτείτο καταστολή τους και ιδιωτικοποίηση των δομών στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Η Μεγάλη Βρετανία έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην προώθηση αυτής της κατεύθυνσης μέσω της ιδιωτικοποίησης.

Η παρούσα οδηγία αποσκοπούσε στη θέσπιση κοινών κανόνων για όλα τα κράτη - μέλη. Οι κανόνες αυτοί σχετίζονται με την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η οδηγία καθόριζε τους κανόνες που αφορούν στα εξής ζητήματα:

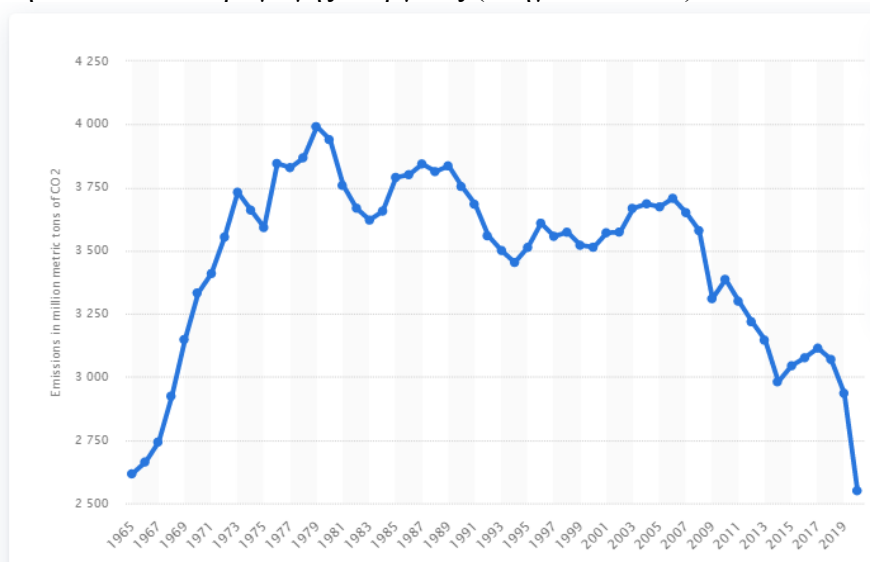
- Στην οργάνωση και τη λειτουργία του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας
- Στην πρόσβαση στην αγορά
- Στα κριτήρια και τις διαδικασίες που ισχύουν για τις προσκλήσεις υποβολής προσφορών
- Στη χορήγηση αδειών και την εκμετάλλευση των δικτύων

Τα κράτη - μέλη έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν τη διαδικασία για την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω της χορήγησης αδειών είτε μέσω ενός συστήματος πρόσκλησης υποβολής προσφορών. Οι άδειες

χορηγούνται και οι προσκλήσεις υποβολής προσφορών διενεργούνται με βάση αντικειμενικά, διαφανή και αμερόληπτα κριτήρια.

1.6.2 Η Ευρωπαϊκή πολιτική για τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων

Η παραγωγή ενέργειας συνδέεται στενά με τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Στους τομείς επιβάρυνσης του περιβάλλοντος περιλαμβάνονται οι εκπομπές ρύπων και οι κλιματικές αλλαγές που προκαλούνται στον πλανήτη από την παραγωγή ενέργειας. Ο κύριος στόχος είναι η άμεση προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και η ελαχιστοποίηση των εκπομπών ρύπων κατά τη διαδικασία παραγωγής ενέργειας (οδηγία 2004/35).



Σχήμα 9: Επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ε.Ε. για το χρονικό διάστημα 1965 – 2020 (εκατομμύρια τόνοι) [19]

Το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο εγκρίθηκε στις 11 Δεκεμβρίου 1997, καθόρισε τις κατευθυντήριες γραμμές για τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Οι ρύποι αυτοί επηρεάζουν άμεσα το περιβάλλον και συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, καθόρισε τα νομικά πλαίσια δράσης μέσω της ανάληψης υποχρεώσεων από τους παραγωγούς ενέργειας. Από τον Φεβρουάριο του 2005, το εν λόγω πρωτόκολλο τέθηκε σε εφαρμογή. Το πρωτόκολλο καθορίζει τις ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών αερίων ρύπων και περιλαμβάνει τρεις μηχανισμούς [6]:

- Την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων
- Τα προγράμματα κοινής εφαρμογής
- Το Μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης

Ο σκοπός των κατευθύνσεων ήταν η διοχέτευση των επενδύσεων στην παραγωγή ενέργειας με χρήση όλων των προσφερόμενων τεχνολογιών παραγωγής, δεδομένου ότι διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής επιβαρύνουν διαφορετικά το περιβάλλον. Η θεμελίωση του συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων προέρχεται από την οδηγία 2003/87. Οι δημοπρασίες ρύπων διεξάγονται στην κοινή πλατφόρμα του Ευρωπαϊκού Χρηματιστηρίου Ενέργειας (E.E.X.).

Στην περίπτωση της Ελλάδας, η εταιρεία ΛΑΓΗΕ (υπεύθυνος για τη Λειτουργία της ΑΓΟράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), έχει αναλάβει τα δικαιώματα του εκπλειστηριαστή για τους ρύπους που παράγονται σε εθνικό επίπεδο. Η εταιρεία λειτουργεί ως εκπρόσωπος του

Ελληνικού Κράτους. Στις 14 Μαρτίου 2018, η οδηγία 2018/410 τροποποίησε την οδηγία 2003/87, προσφέροντας τη νέα νομική βάση για το σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ε.Ε.

Η κλιματική αλλαγή, όπως αναφέρεται στη συμφωνία του Παρισιού, περιλαμβάνει επίσης ένα σχέδιο δράσης. Ο στόχος αυτού του σχεδίου είναι να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από 2°C. Στην Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.9°C (2019) στην Ε.Ε., σε σύγκριση με τα επίπεδα πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Σύμφωνα με διεθνείς ειδικούς για το κλίμα, η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 2°C, διασφαλίζοντας έτσι όσο το δυνατόν την κλιματική σταθερότητα. Ο στόχος είναι να αποφευχθούν οι πιο επικίνδυνες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, χωρίς να υπάρξει μείωση των εκπομπών CO₂ πριν από το 2050.

Η μείωση των εκπομπών απαιτεί την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων ενεργειακών τεχνολογιών. Η τεχνολογική επανάσταση έχει ήδη ξεκινήσει στην Ευρώπη, καθώς οι αγορές και οι επενδύσεις για την τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνονται κάθε χρόνο.

Στις 30 Νοεμβρίου 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε μια σειρά μέτρων για "Καθαρή Ενέργεια για όλους τους πολίτες της Ευρώπης". Η διαδικασία έγκρισης για κάθε μία από τις 8 πράξεις αναλύεται στον παρακάτω πίνακα.

Ο σκοπός της οδηγίας είναι η αναθεώρηση του σχεδιασμού της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) αναμένεται να αυξήσουν τη συμμετοχή τους από 25%, σε ποσοστά άνω του 50% μέχρι το 2030 στην ευρωπαϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τον κανονισμό 2018/1999, από την 31η Δεκεμβρίου 2019, "κάθε κράτος - μέλος της Ε.Ε. υποχρεούται να υποβάλει ενοποιημένο εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα". Το σχέδιο αυτό θα πρέπει να ανανεώνεται κάθε δέκα χρόνια. Οι ενέργειες αποσκοπούν σε μια ενιαία ολοκλήρωση των πολιτικών δράσεως μέχρι το 2050.

Πίνακας 1: Νομοθετική Διαδικασία της οδηγίας "Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους"

	European Commission Proposal	EU Inter-institutional Negotiations	European Parliament Adoption	Council Adoption	Official Journal Publication
Energy Performance in Buildings	30/11/2016	Political Agreement	17/04/2018	14/05/2018	19/06/2018 - Directive (EU) 2018/844
Renewable Energy	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2008	21/12/2018 - Directive (EU) 2018/2001
Energy Efficiency	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Directive (EU) 2018/2002
Governance of the Energy Union	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Regulation (EU) 2018/1999
Electricity Regulation	30/11/2016	Political Agreement	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulation (EU) 2019/943
Electricity Directive	30/11/2016	Political Agreement	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Directive (EU) 2019/944
Risk Preparedness	30/11/2016	Political Agreement	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulation (EU) 2019/941
ACER	30/11/2016	Political Agreement	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulation (EU) 2019/942

1.6.3 Η Ευρωπαϊκή πολιτική για την Ενεργειακή σύζευξη των κρατών - μελών

Ο κύριος στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η ενοποίηση των ενεργειακών αγορών και η εξασφάλιση απρόσκοπτης παροχής ενέργειας σε όλα τα κράτη - μέλη και τους πολίτες της. Σύμφωνα με τον κανονισμό 2015/1222, η σύζευξη της αγοράς αποσκοπεί στην ενοποίηση μέσω των αγοραπωλησιών ενέργειας στα ευρωπαϊκά χρηματιστήρια. Η αγορά επεκτείνεται σε διασυνοριακό και εθνικό επίπεδο, με στόχο την οικονομική αποδοτικότητα. Η δημιουργία μιας ενοποιημένης ενεργειακής αγοράς θα επιτρέψει:

- την πρόσβαση σε πηγές ενέργειας από διάφορες τεχνολογίες
- το χαμηλότερο δυνατό κόστος παραγωγής
- τη μεγιστοποίηση του οφέλους για όλους τους συμμετέχοντες στην ενιαία χρηματιστηριακή αγορά ενέργειας [6]

Οι αγορές προσδοκείται ότι θα λειτουργούν με στόχο τη βελτιστοποίηση και την ικανοποίηση της ζήτησης ενέργειας, τόσο σε ημερήσια όσο και σε ενδοημερήσια επίπεδα αγοράς - πώλησης ενέργειας. Σύμφωνα με τον κανονισμό, απαιτείται η εγκατάσταση ενός

κοινού μοντέλου δικτύου, το οποίο θα αντικατοπτρίζει το ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο σύστημα. Ο σκοπός είναι ο συντονισμένος υπολογισμός της διαζωνικής δυναμικότητας από τους Διαχειριστές Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ). Επιπλέον, στο σημείο 4 του προοιμίου του κανονισμού, διευκρινίζεται ότι η διαθέσιμη δυναμικότητα υπολογίζεται συνήθως με βάση την προσέγγιση ροής. Η ροή της ενέργειας μπορεί να προέρχεται από διάφορα διασυνδεδεμένα δίκτυα και κατευθύνσεις. Οι υπολογισμοί των ροών θα πραγματοποιούνται με τη χρήση ενημερωμένων αλγορίθμων, οι οποίοι θα αναπτύσσονται και θα τροποποιούνται με την πάροδο του χρόνου. Οι αλγόριθμοι αυτοί περιλαμβάνουν:

- Αλγόριθμος σύζευξης τιμών (Price Coupling Algorithm - PCR)
- Αλγόριθμος Αντιστοίχισης Συνεχούς Συναλλαγής (Continuous Trading Matching Algorithm)

Ένα από τα κύρια επιτεύγματα του έργου PCR είναι η δημιουργία του αλγόριθμου σύζευξης ενιαίας τιμής. Ο αλγόριθμος είναι ευρέως γνωστός ως EUPHEMIA - European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm. Από τον Φεβρουάριο του 2014, ο EUPHEMIA χρησιμοποιείται σταδιακά για τον υπολογισμό της κατανομής ενέργειας και τη διαμόρφωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μεγιστοποίησης του συνολικού οφέλους και της αύξησης της διαφάνειας στον υπολογισμό των τιμών και των ροών ισχύος στα δίκτυα.

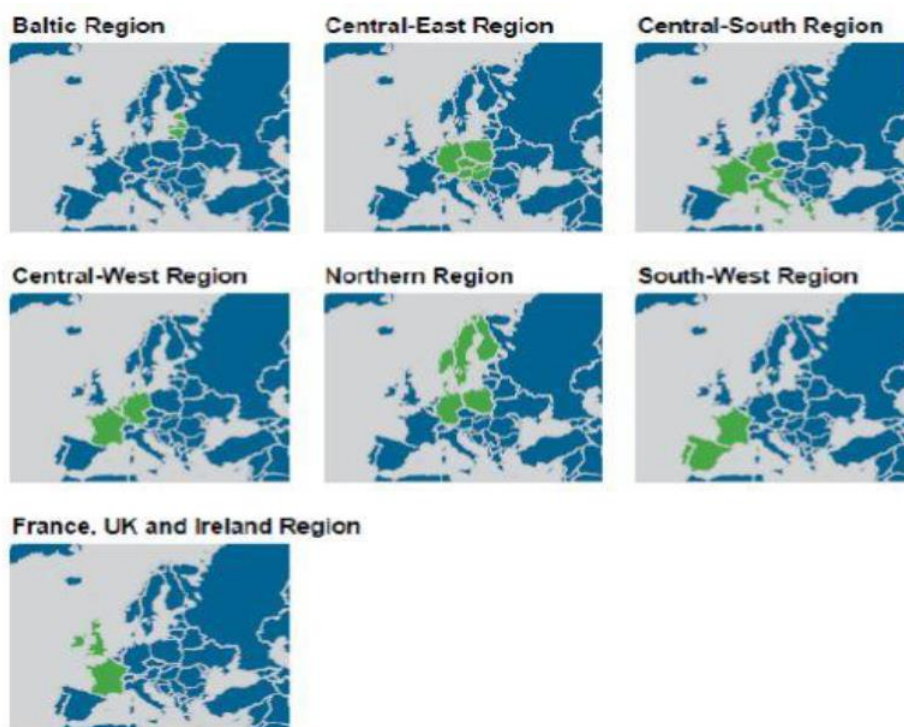
Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση παραγγελιών καθορίζουν την αποδοτικότητα και την ανθεκτικότητα του συστήματος. Υπάρχουν δύο βασικές καταστάσεις στην αγορά:

- η συνεχής διαπραγμάτευση, όπου οι εντολές αντιστοιχίζονται άμεσα, και
- η δημοπρασία αντιστοίχισης που πραγματοποιείται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

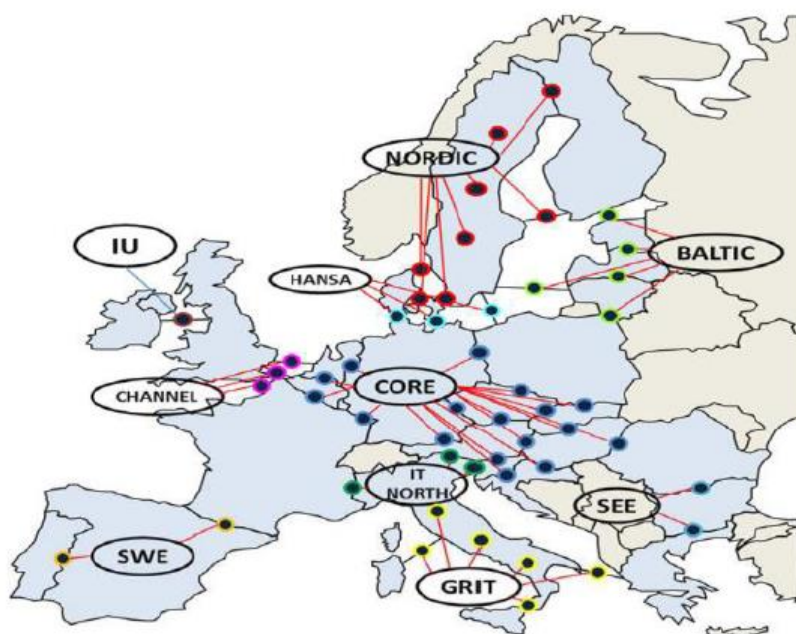
Ένα τυπικό παράδειγμα εφαρμογής ενός συστήματος αντιστοίχισης σε καθεστώς δημοπρασίας, είναι η ανοιχτή αγορά, όταν έχει συγκεντρωθεί ένας αριθμός παραγγελιών. Στην πορεία για την ενοποίηση μιας κοινής ενεργειακής αγοράς, οι διαδικασίες έχουν ήδη ξεκινήσει από το 2006. Σε αυτή τη φάση, το Βέλγιο, η Γαλλία και η Ολλανδία έχουν συμφωνήσει για τη σύζευξη των ενεργειακών αγορών επόμενης ημέρας. Την ίδια χρονιά, οι Ευρωπαϊκές Ρυθμιστικές Αρχές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου, προχώρησαν στην υλοποίηση του Προγράμματος Πρωτοβουλίας Ηλεκτρισμού (Electricity Regional Initiatives – ERI). Αυτή η πρωτοβουλία λειτουργεί ως ενδιάμεσο στάδιο πριν από την πλήρη ενοποίηση της ευρωπαϊκής αγοράς. Οι περιοχές ενοποίησης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Το 2012, η Γερμανία και το Λουξεμβούργο ολοκλήρωσαν τη διαδικασία σύζευξης των αγορών της δυτικής Ευρώπης (Market Coupling Western Europe – CWE). Το πρόγραμμα αυτό συνδέεται επίσης με σκανδιναβικές περιοχές μέσω του προγράμματος Interim Tight Volume Coupling (ITVC). Η Πορτογαλία και η Ισπανία συμμετέχουν σε αυτό το σχήμα (MIBEL). Το 2013, η Αυστρία εντάχθηκε στον όμιλο CWE.

Το 2010, μέσω της πρωτοβουλίας Σύζευξης Τιμών των Περιφερειών (Price Coupling of Regions – PCR), ιδρύθηκε μία ενοποιημένη αγορά ενέργειας που περιλάμβανε 15 κράτη. Αυτή η συμφωνία περιλαμβάνει επτά χρηματιστήρια ενέργειας, τα οποία καθορίζουν τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη.

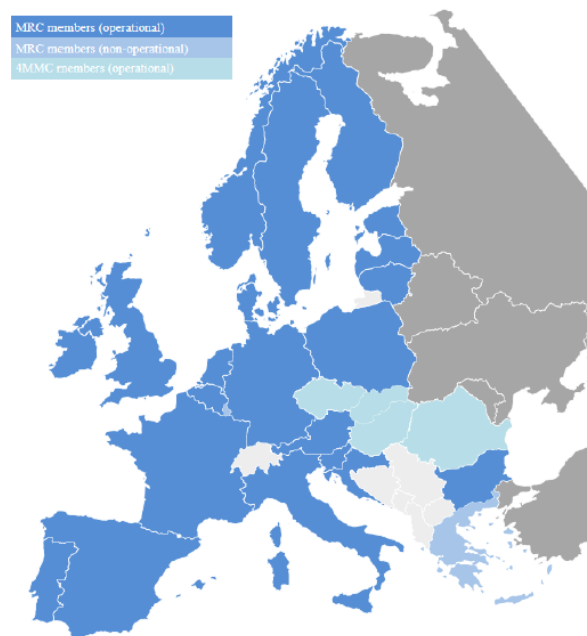


Σχήμα 10: Οι επτά περιφερειακές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη [6]



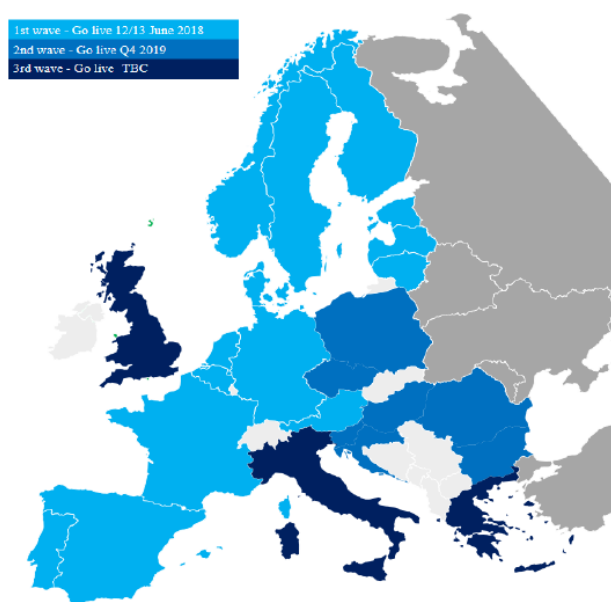
Σχήμα 11: Περιφέρειες υπολογισμού δυναμικότητας (Capacity Calculation Regions – CCRs) [6]

Σήμερα, ο αλγόριθμος υπολογισμού του κανονισμού PCR εφαρμόζεται για την ενεργειακή σύζευξη 25 κρατών. Ο συνολικός χάρτης της Ευρώπης με τη σύζευξη απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 12: Χάρτης των μελών σύζευξης [6]

Το πρόγραμμα XBD – Cross Border Intraday, αποτελεί τον πυρήνα για την ανάπτυξη της ενδοημερήσιας αγοράς στην Ευρώπη. Στην ενδοημερήσια συναλλαγή συμμετέχουν 14 χώρες για την αγοραπωλησία ενέργειας. Η Ελλάδα εντάχθηκε στον ενοποιημένο μηχανισμό στο τρίτο κύμα εφαρμογής το 2020. Οι χώρες που είναι διασυνδεδεμένες απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 13: Τα τρία κύματα διασύνδεσης του XBD project [6]

1.7 Το Ελληνικό Νομικό Πλαίσιο και η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα ζητήματα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα (πετρελαϊκή κρίση και εξάρτηση της παραγωγής ενέργειας από ορυκτούς πόρους), οι οικονομικές αναταραχές, η ακαμψία των ενεργειακών μονοπωλίων κ.λπ., οδήγησαν την Ε.Ε. στην αναζήτηση νέων λύσεων για τη δημιουργία μιας ενιαίας αγοράς ενέργειας [7], [8]. Η προσπάθεια αυτή καθοδηγείται από τις κοινοτικές οδηγίες και κατευθύνσεις. Η κατάργηση των εθνικών ενεργειακών μονοπωλίων αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα στην προσπάθεια αυτορρύθμισης μιας κοινής αγοράς. Στο πλαίσιο της κατάτμησης και ιδιωτικοποίησης, η ενέργεια διαχωρίστηκε σε τέσσερις πυλώνες:

- Παραγωγή
- Μεταφορά
- Διανομή
- Προμήθεια

Οι τέσσερις προαναφερθέντες πυλώνες υπήρξαν αντικείμενο των εθνικών μονοπωλίων στον τομέα της ενέργειας (καθετοποιημένη παραγωγή). Η καθετοποιημένη παραγωγή ήταν το μοντέλο λειτουργίας της αγοράς ενέργειας και στην Ελλάδα. Τα θεσμικά, οικονομικά και πρακτικά ζητήματα που προκύπτουν κατά την προσπάθεια δημιουργίας μιας ενιαίας αγοράς αντιμετωπίζονται σταδιακά μέσω οδηγιών της Ε.Ε. και σχετικών νόμων. Στο πλαίσιο αυτό, στην ελληνική επικράτεια, ένα σύνολο νομοθετικών ρυθμίσεων, όπως οι 2773/1999, 3426/2005, 4001/2011, καθώς και οι πιο πρόσφατοι 4425/2016 και 4512/2018, προσεγγίζουν σταδιακά τα εν λόγω προβλήματα.

Ειδικότερα, ο νόμος 2773/1999 ίδρυσε την Ανεξάρτητη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) και καθορίζει τις αρμοδιότητές της (Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την ιδρυτική διακήρυξη, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α-1).

Σημαντικά βήματα για την απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιήθηκαν με τον νόμο 4001/2011. Ο εν λόγω νόμος καθόρισε το πλαίσιο για την πλήρη απελευθέρωση της αγοράς προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το άρθρο 99 του 4001/2011, η ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. [12] μεταβιβάζει στην ανώνυμη εταιρεία με την επωνυμία "Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας" (ΑΔΜΗΕ Α.Ε.), το αντικείμενο της μεταφοράς της ενέργειας. Στον νέο φορέα μεταφέρονται οι οργανωτικές μονάδες και οι δραστηριότητες που σχετίζονται με:

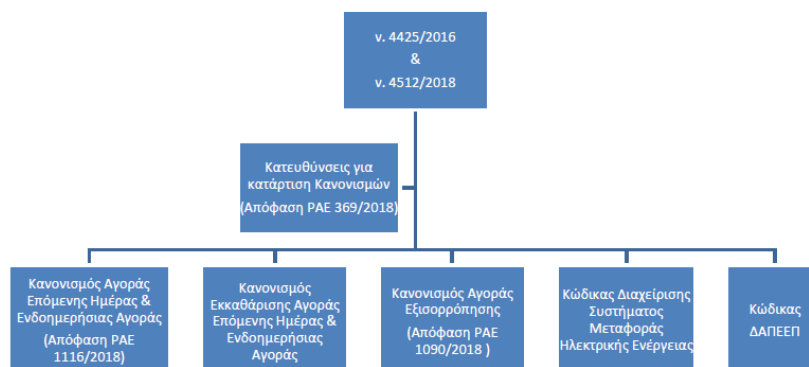
- τη διαχείριση
- τη λειτουργία
- την ανάπτυξη και
- τη συντήρηση του Συστήματος Μεταφοράς

Επιπλέον, μεταβιβάζεται και η κυριότητα του Συστήματος από τη Δ.Ε.Η. (Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιδρυτική διακήρυξη, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α-2).

1.7.1 Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας - Ε.Χ.Ε.

Τον Φεβρουάριο του 2017, ο φορέας της ενεργειακής αγοράς ΛΑΓΗΕ και ο Όμιλος του Χρηματιστηρίου Αθηνών (ATHEX), [14] υπέγραψαν ένα μνημόνιο συνεργασίας. Το εν λόγω μνημόνιο προβλέπει τη σύσταση του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας - Ε.Χ.Ε.,

με την υποστήριξη τεχνικής βοήθειας από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ευθύνη για την εφαρμογή των μεταρρυθμίσεων ανατέθηκε στο Ερευνητικό Ινστιτούτο της Κομισιόν JRC. Οι νόμοι που καθορίζουν το ρυθμιστικό πλαίσιο είναι ο 4512/2018. Ο νόμος προβλέπει την ίδρυση του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, σύμφωνα με το νέο άρθρο 9 του 4425/2016. Ο φορέας που αναλαμβάνει τη διαχείριση και λειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, καθώς και της ενδοημερήσιας και ενεργειακής αγοράς, είναι η εταιρεία Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας Α.Ε. (Ε.Χ.Ε. Α.Ε.) [6]. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι συνεργαζόμενοι οργανισμοί καθώς και το νομικό πλαίσιο που διέπει τις ενέργειές τους.



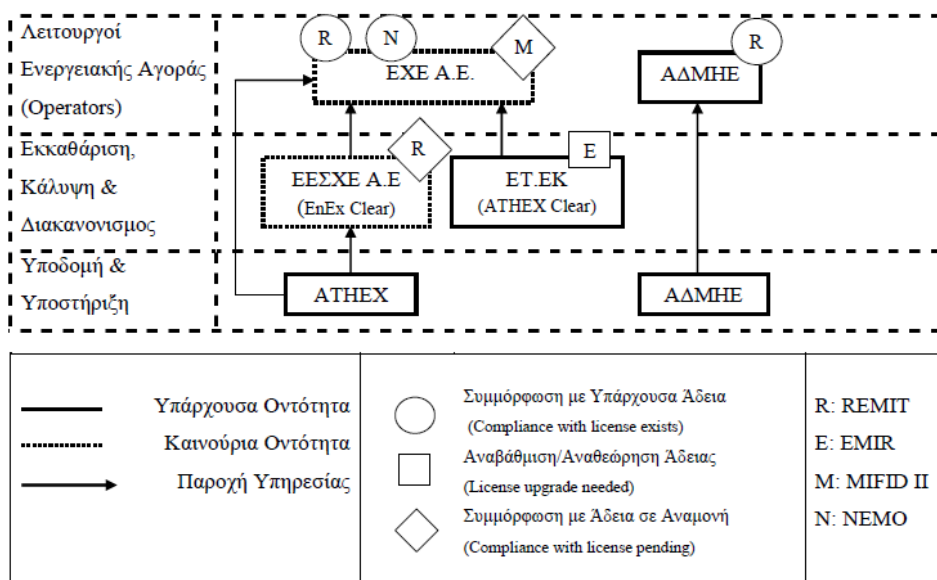
Σχήμα 14: Νέο Ρυθμιστικό Πλαίσιο – Κατευθύνσεις και Ρυθμιστικά κείμενα [6]

Στο κέντρο της νέας ενεργειακής νομοθεσίας βρίσκεται η ίδρυση και η λειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, καθώς και η αναδιοργάνωση της δομής και της λειτουργίας των τεσσάρων νέων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Το νέο νομικό πλαίσιο περιλαμβάνει ειδικούς κανόνες σχετικά με την εκκαθάριση των συναλλαγών που πραγματοποιούνται. Σύμφωνα με το νέο άρθρο 12 του 4425/2016, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 83 του 4512/2018, η εκκαθάριση των συναλλαγών στην Αγορά Εξισορρόπησης εκτελείται από τον ΑΔΜΗΕ. Ο ΑΔΜΗΕ είναι υποχρεωμένος να υποβάλει τη σχετική σύμβαση εξωτερικής ανάθεσης στην Ρ.Α.Ε. [11] για έγκριση, με στόχο τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της ενεργειακής αγοράς.

Πίνακας 2: Χρηματιστηριακό μοντέλο οργάνωσης και Εκκαθαριστές Συναλλαγών

Λειτουργίες (Functions)	SPOT Markets-Προϊόντα Άμεσης Παράδοσης			Προθεσμιακές Αγορές	
	Αγορές Επόμενης Ημέρας (Day Ahead)	Ενδοημερήσια Αγορά (Intraday)	Αγορά Εξισορρόπησης (Balancing)	Φυσικής Παράδοσης	Διακανονισμού με Μετρητά (Cash Settlement)
Εκτέλεση Συναλλαγών (Trading)	EXE Α.Ε.	EXE Α.Ε.	ΑΔΜΗΕ	EXE Α.Ε.	EXE Α.Ε.
Εκκαθάριση, Διακανονισμός, Διαχείριση Κινδύνου	ΕΕΣΧΕ Α.Ε. (EnEx Clear)	ΕΕΣΧΕ Α.Ε. (EnEx Clear)	ΑΔΜΗΕ *Clearing House	ΕΤ.ΕΚ (ATHEX Clear)	ΕΤ.ΕΚ (ATHEX Clear)
Τεχνική και Λειτουργική Υποστήριξη	ΑΤΗΕΧ	ΑΤΗΕΧ	ΑΔΜΗΕ	ΑΤΗΕΧ	ΑΤΗΕΧ

Οι δραστηριότητες των νέων οργανισμών, καθώς και τα πλαίσια συνεργασίας, παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα.



Σχήμα 15: Σχηματική Αναπαράσταση του Χρηματιστηριακού Μοντέλου Οργάνωσης [6]

Η ελληνική ενεργειακή αγορά εισέρχεται σε μια περίοδο μετάβασης. Αυτή η φάση θεωρείται από πολλούς ως ιδιαίτερα απαιτητική και καθοριστική για την μελλοντική θέση της χώρας στον ενεργειακό χάρτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όπως αποδεικνύεται από την εμπειρία της αγοράς και του Χρηματιστηρίου Ενέργειας (2024), η λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει επηρεαστεί σημαντικά ως προς τα επίπεδα των παρεχόμενων τιμών προς τους τελικούς καταναλωτές.

1.8 Τύποι Συναλλαγών στην Σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τύποι των συναλλαγών που προβλέπονται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας,

1.8.1 Η Αγορά Επόμενης Ημέρας

Η Αγορά Επόμενης Ημέρας (Day-Ahead Market) [7], [15] αναφέρεται σε συναλλαγές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, με υποχρέωση φυσικής παράδοσης την ημέρα D. Στην αγορά Day-Ahead (DAM), η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί αντικείμενο διαπραγμάτευσης μέσω διμερών συμβολαίων OTC (Over The Counter) καθώς και μέσω ανταλλαγής ισχύος. Οι συναλλαγές για την αγορά ή πώληση ηλεκτρικής ενέργειας με φυσική υποχρέωση παράδοσης την ημέρα D, δημοπρατούνται την ημέρα D-1, κατά την οποία δηλώνονται επίσης όλες οι συναλλαγές χρηματοοικονομικών προϊόντων ενέργειας με φυσική παράδοση.

Σκοπός είναι η φυσική παράδοση των προϊόντων για κάθε Αγοραία Χρονική Μονάδα της Ημέρας Εκπλήρωσης Φυσικής Παράδοσης D. Η συμμετοχή είναι υποχρεωτική για τους παραγωγούς ενέργειας, ενώ για τους υπόλοιπους συμμετέχοντες είναι προαιρετική. Οι παραγωγοί υποχρεούνται να υποβάλλουν παραγγελίες πώλησης για τη διαθέσιμη χωρητικότητα των μονάδων τους, η οποία δεν έχει ήδη εκχωρηθεί μέσω συναλλαγών ενεργειακών χρηματοοικονομικών προϊόντων (αδιάθετες ποσότητες) ή άλλων συναλλαγών που σχετίζονται με ενεργειακά προϊόντα χονδρικής με υποχρέωση φυσικής παράδοσης.

Η Αγορά Επόμενης Ημέρας αποτελεί τη χονδρική αγορά όπου διεξάγονται συναλλαγές μεταξύ Πωλητών και Αγοραστών, με σκοπό την παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας την επόμενη ημέρα. Η διαδικασία κατανομής και δήλωσης των Προθεσμιακών Συμβολαίων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Φυσική Παράδοση διενεργείται σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Χονδρικής Αγοράς Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η Αγορά Επόμενης Ημέρας ρυθμίζεται από τον Κανονισμό 2015/1222 της Ε.Ε. (24 Ιουλίου 2015), ο οποίος καθορίζει κατευθυντήριες γραμμές για:

- την κατανομή της δυναμικότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης
- τη δημιουργία μιας ενιαίας Αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας Επόμενης Ημέρας, η οποία εκκαθαρίζεται μέσω ενός κοινού αλγόριθμου σύζευξης τιμών
- καθώς και τις διατάξεις των νόμων 4001/2011 και 4425/2016

(Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιδρυτική διακήρυξη, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α-3).

1.8.2 Η Ενδοημερήσια Αγορά

Στο πλαίσιο της Ενδοημερήσιας Αγοράς, οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να υποβάλλουν προσφορές για αγορά και πώληση κατά την ημέρα της φυσικής παράδοσης D. Η Ενδοημερήσια Αγορά λειτουργεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο για τους συμμετέχοντες, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζουν τις θέσεις τους όταν παρατηρούν αποκλίσεις από τις προσφορές τους στην Αγορά Day-Ahead. Αυτή η διαδικασία συμβάλλει στη μείωση των αποκλίσεων μεταξύ της πραγματικής παραγωγής και ζήτησης, σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν πιο κοντά στον πραγματικό χρόνο παράδοσης [16].

Η Ενδοημερήσια Αγορά αποτελεί τη χονδρική αγορά όπου πραγματοποιούνται συναλλαγές μεταξύ Πωλητών και Αγοραστών για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας εντός της ημέρας. Η λειτουργία της διέπεται από τις διατάξεις του κανονισμού 2015/1222 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που εκδόθηκε στις 24 Ιουλίου 2015. Ο εν λόγω κανονισμός αναφέρεται στον καθορισμό κατευθυντήριων γραμμών [10] για την κατανομή της δυναμικότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης, προκειμένου να διαμορφωθεί μία ενιαία λύση για τη Σύζευξη Ενδοημερήσιων Αγορών, σύμφωνα με τους νόμους 4001/2011 και 4425/2016 (Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιδρυτική διακήρυξη, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α-4).

1.8.3 Η Προθεσμιακή Αγορά

Η Χονδρική Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελεί την αγορά όπου πραγματοποιούνται συναλλαγές μεταξύ Πωλητών και Αγοραστών για την μελλοντική παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας (σε προθεσμία), όπως καθορίζεται στις Προδιαγραφές Προθεσμιακών Συμβολαίων των σχετικών προϊόντων. Η λειτουργία της Προθεσμιακής Αγοράς διέπεται από τις διατάξεις των νόμων 4001/2011 και 4425/2016. Ο σκοπός του Κώδικα Χονδρικής Αγοράς Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι να προσδιορίσει τους όρους και τις προϋποθέσεις που διέπουν τη λειτουργία της αγοράς αυτής. (Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιδρυτική διακήρυξη, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α-5).

1.8.4 Η Αγορά Εξισορρόπησης

Ο σκοπός της Αγοράς Εξισορρόπησης είναι η αποκατάσταση της ανισορροπίας μεταξύ παραγωγής και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας τη συνεχή παροχή ενέργειας από το σύστημα, σύμφωνα με τα καθορισμένα ποιοτικά πρότυπα. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη τα προγράμματα αγοράς των συμμετεχόντων στις προηγούμενες αγορές. Η Αγορά Εξισορρόπησης (Balancing Market) διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- την Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης
- την Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης και
- τη Διαδικασία Εκκαθάρισης Αποκλίσεων [8], [18]

Ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς:

- διατηρεί Μητρώο Συμμετεχόντων που έχουν υπογράψει Σύμβαση Εξισορρόπησης
- ενημερώνει άμεσα τον Διαχειριστή Αγοράς για οποιαδήποτε τροποποίηση της Σύμβασης Εξισορρόπησης ενός Συμμετέχοντα
- τηρεί Μητρώο Μονάδων Παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Αγοράς Εξισορρόπησης.

Ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς παρέχει στον Διαχειριστή Αγοράς τις εξής πληροφορίες:

- τα Μακροχρόνια Φυσικά Δικαιώματα Μεταφοράς για κάθε Ώρα Εκπλήρωσης Φυσικής Παράδοσης της Ημέρας Εκπλήρωσης, όπως αναφέρεται στο Άρθρο 28
- τα στοιχεία από το Μητρώο Μονάδων Παραγωγής για κάθε Μονάδα Παραγωγής για κάθε Ημέρα Εκπλήρωσης Φυσικής Παράδοσης, όπως περιγράφεται στο Άρθρο 28
- τη Διαθέσιμη Ισχύ των Μονάδων Παραγωγής και των Μονάδων Α.Π.Ε. για κάθε Ώρα Εκπλήρωσης Φυσικής Παράδοσης της Ημέρας Εκπλήρωσης, όπως αναφέρεται στο Άρθρο 29

Ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς τηρεί όλες τις υποχρεώσεις που προκύπτουν από τον Κώδικα της Προθεσμιακής Αγοράς καθώς και από τον Κώδικα Εξισορρόπησης.

1.8.5 Διμερή Συμβόλαια

Η διάρθρωση της Προθεσμιακής Αγοράς περιλαμβάνει:

- την υποβολή Εντολών Αγοράς ή Πώλησης και τη σύναψη Προθεσμιακών Συμβολαίων, με υποχρέωση φυσικής παράδοσης στη Χρηματιστηριακή Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας, την οποία διαχειρίζεται ο Διαχειριστής Αγοράς, καθώς και
- την καταχώριση Διμερών Εξωχρηματιστηριακών Συμβολαίων (Bilateral OTC Contracts), με υποχρέωση φυσικής παράδοσης στο Σύστημα Καταχώρησης Προθεσμιακών Συμβολαίων και Υποβολής Δηλώσεων Προγραμμάτων Φυσικής Παράδοσης/Απόληψης (Registration & Nomination Platform), που επίσης διαχειρίζεται ο Διαχειριστής Αγοράς

Οι προθεσμιακές συναλλαγές διεξάγονται αποκλειστικά σε διμερή βάση. Αυτή τη στιγμή, λόγω της έλλειψης επαρκών ποσοτήτων που να δικαιολογούν τη δημιουργία μιας εξειδικευμένης κεντρικής πλατφόρμας για την αγοροπωλησία προθεσμιακών προϊόντων (Over the Counter), η διαπραγματέυσή τους αναμένεται να πραγματοποιείται εκτός οποιασδήποτε κεντρικής αγοράς. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, μπορεί να προκύψει η ανάγκη για τη δημιουργία μιας κεντρικής πλατφόρμας για τη διαπραγματέυση σχετικών προθεσμιακών προϊόντων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός αφορά αποκλειστικά προθεσμιακές συναλλαγές σε καθαρά διμερή βάση. Η παρουσία των Επιχειρήσεων με δεσπόζουσα θέση στην αγορά υποδεικνύει ότι η πλειονότητα των ποσοτήτων θα διαπραγματεύεται διμερώς.

Στα πρώτα χρόνια λειτουργίας της αγοράς, η P.A.E. θα επιδιώξει να ενισχύσει τη ρευστότητα στην προθεσμιακή αγορά και να ενδυναμώσει τις δυνατότητες των ανεξάρτητων συμμετεχόντων να αντισταθμίζουν τους κινδύνους που προκύπτουν.

Η P.A.E. έχει τη δυνατότητα να επανεξετάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα τον μηχανισμό με βάση τον οποίο, ορισμένα προθεσμιακά προϊόντα θα πρέπει να διατίθενται σε τρίτους. Η υποχρέωση προσφοράς προκαθορισμένων προϊόντων σε αναλογική βάση και σε ρυθμιζόμενες τιμές, καθώς και η διεξαγωγή δημοπρασιών με ρυθμιζόμενη τιμή εκκίνησης ή άλλοι παρόμοιοι μηχανισμοί, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν. Η εφαρμογή αυτών των μηχανισμών συνεπάγεται ρυθμιστική παρέμβαση και αποτελεί μια διαδικασία που εξελίσσεται παράλληλα με τις προτεινόμενες ρυθμίσεις της αγοράς, διασφαλίζοντας τη συμβατότητά τους.

Τα διμερή συμβόλαια που καταχωρούνται στην πλατφόρμα του Λειτουργού της Αγοράς αφορούν προϊόντα φυσικής παράδοσης. Αυτό υποδηλώνει ότι τα αντίστοιχα συμβόλαια θα πρέπει να περιλαμβάνουν σχετικές υποχρεώσεις για την έγχυση και απορρόφηση ενέργειας. Διμερή συμβόλαια μπορούν να διαπραγματεύονται σε επίπεδο χονδρεμπορικής ως συμβόλαια με δικαίωμα εξάσκησης μέχρι και την ώρα H-1, οπότε είτε εξασκούνται είτε τερματίζονται. Ο Λειτουργός της Αγοράς οφείλει να έχει τη δυνατότητα εγγραφής ποικιλίας διμερών προϊόντων (όπως προϊόντα βάσης και προϊόντα αιχμής), διασφαλίζοντας ότι οι ποσότητες έγχυσης και απορρόφησης είναι ισόποσες ανά ημίωρο (περίοδος παράδοσης). Οι ποσότητες ισχύος καταχωρούνται στους λογαριασμούς των παραγωγών και των προμηθευτών λιανικής. Οι οικονομικές συναλλαγές και οι αντίστοιχες εγγυήσεις διαχειρίζονται σε διμερή βάση, χωρίς την εμπλοκή του Λειτουργού της Αγοράς. Η διαδικασία σύναψης των σχετικών συμβολαίων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε άμεσα είτε μέσω μεσιτών.

Η δυνατότητα να επιτρέπεται η χρηματοδότηση των διμερών συμβολαίων από τον Λειτουργό της Αγοράς, όπως συμβαίνει στην Ιταλική Προθεσμιακή Αγορά με τον Λειτουργό GME, ο οποίος αναλαμβάνει τον αντίστοιχο χρηματοοικονομικό κίνδυνο, δεν προτείνεται. Ο λόγος είναι ότι ο οικονομικός κίνδυνος που αναλαμβάνει ο Λειτουργός της Αγοράς θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο περιορισμένος, δεδομένου ότι πιθανόν ο Λειτουργός να είναι μια νέα εταιρεία (είτε εντός του ΔΣΜ είτε εκτός), χωρίς την απαραίτητη εμπειρία στη διαχείριση χρηματοοικονομικών κινδύνων. Εάν η λειτουργία της Αγοράς ανατεθεί σε μια εταιρεία με επαρκείς ικανότητες στη διαχείριση των σχετικών κινδύνων, τότε θα μπορούσε να εξεταστεί η χρηματοδότηση των διμερών συμβολαίων από αυτήν.

1.9 Μηχανισμοί Εποπτείας και Ελέγχου. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (P.A.E.) αποτελεί μία ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία ιδρύθηκε με τον νόμο 2773/1999, στο πλαίσιο της εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54 και

2003/55 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι οδηγίες αφορούν τον τομέα του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου. Η κύρια ευθύνη της είναι η εποπτεία της εγχώριας αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς της. Η Ρ.Α.Ε. προτείνει μέτρα στους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας, ενώ παράλληλα αναλαμβάνει και η ίδια πρωτοβουλίες για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου [6].

Με τον νόμο 2773/1999 και τις επακόλουθες τροποποιήσεις του, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ανέλαβε σημαντικές αρμοδιότητες, κυρίως γνωμοδοτικού χαρακτήρα, καθώς και παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς. Αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Επιπλέον, η Ρ.Α.Ε. έχει αναλάβει συγκεκριμένες αρμοδιότητες που σχετίζονται με την αγορά πετρελαιοειδών. Με την ψήφιση του νόμου 3851/2010, πραγματοποιήθηκαν σημαντικές τροποποιήσεις στο υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, καθώς και τις αρμοδιότητες της Ρ.Α.Ε. στο συγκεκριμένο τομέα. Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούν τόσο τη διαδικασία αδειοδότησης των σταθμών Α.Π.Ε. όσο και την αξιολόγηση των αιτήσεων για χορήγηση άδειας παραγωγής ενέργειας.

Η Ρ.Α.Ε. έχει αναλάβει πλέον έναν καθοριστικό ρόλο σε διάφορους τομείς, όπως:

- Έκδοση αδειών παραγωγής
- Επίβλεψη και παρακολούθηση της αγοράς ενέργειας
- Προστασία των δικαιωμάτων των καταναλωτών
- Εξασφάλιση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Έκδοση αδειών
- Εποπτεία των Ανεξάρτητων Διαχειριστών Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων για μη ανταγωνιστικές δραστηριότητες
- Παροχή εξαιρέσεων από υποχρεώσεις πρόσβασης τρίτων
- Παρακολούθηση της πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την ομαλή λειτουργία των ενεργειακών αγορών

Ο ρόλος της Ρ.Α.Ε. ως εθνικής ρυθμιστικής αρχής στον τομέα της ενέργειας έχει αναβαθμιστεί από το 2011 και έπειτα, με την αύξηση και ενίσχυση των αρμοδιοτήτων της, που αφορούν τη ρύθμιση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι αρμοδιότητες αυτές της ανατέθηκαν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Τρίτης Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Δέσμης, η οποία καθορίζει τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές ενέργειας ως "εγγυητές της ομαλής λειτουργίας των ενεργειακών αγορών".

2

Οικονομικά Θέματα στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.

2.1 Η τιμή Άμεσης Παράδοσης και η Οριακή Τιμή Άμεσης Απόδοσης

Το απελευθερωμένο μοντέλο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπει την παρουσία πωλητών καθώς και μεταπωλητών στο σχήμα της σύγχρονης - απελευθερωμένης αγοράς. Οι έμποροι λιανικής καθώς και οι μεγάλοι καταναλωτές δεν είναι σε θέση να προβλέψουν με απόλυτη ακρίβεια τις ανάγκες τους για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (οι μεν πρώτοι ως προς τις πωλήσεις τους οι δε δεύτεροι ως προς τις χρονικά μεταβαλλόμενες ανάγκες τους). Αντίστοιχα, οι παραγωγοί ενέργειας δεν μπορούν να διασφαλίσουν ότι θα είναι σε θέση να παράγουν την ακριβή ποσότητα ενέργειας που έχουν συμφωνήσει στις προθεσμιακές αγορές. Ειδικότερα αυτό γίνεται πιο εμφανές όταν μέρος ή το σύνολο αυτής της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια. Οι πηγές αυτές παράγουν ισχύ με στοχαστικό τρόπο (εξαιτίας των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών). Κατά την ώρα της παράδοσης σε πρακτικό επίπεδο, οι συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας διαθέτουν είτε περισσότερη είτε λιγότερη ενέργεια από αυτή που απαιτεί το σύστημα ή έχουν συμφωνήσει. Αυτή η διαφορά στα ποσά ενέργειας (πραγματική κατανάλωση - προσφερόμενη ισχύς για την κάλυψη της) πρέπει να επιτρέπουν τη διαπραγμάτευση τους στην αγορά της τιμής άμεσης απόδοσης για την πώληση - αγορά της ενέργειας, προκειμένου να καλυφθεί η προκύπτουσα διαφορά [5].

Ως τιμή άμεσης απόδοσης εννοείται η τιμή αγοραπωλησίας της ηλεκτρικής ενέργειας όπως καθορίστηκε από τη διαπραγμάτευση μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών της αγοράς

(παραγωγοί - πωλητές - μεταπωλητές - καταναλωτές) σε προγενέστερη χρονική στιγμή. Όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια, η διαμόρφωση μιας τιμής άμεσης απόδοσης, ειδικά για τις ηλεκτρικές αγορές, επηρεάζεται και από άλλες συνθήκες που άπτονται των ειδικών ζητημάτων λειτουργίας ενός ηλεκτρικού δικτύου.

Οι αγορές με τιμή άμεσης απόδοσης για διάφορα εμπορεύματα, πλην της ηλεκτρικής ενέργειας, στηρίζονται στις άμεσες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αγοραστών και των πωλητών των προϊόντων τους. Η διαδικασία αυτορρύθμισης γίνεται προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανισορροπίες. Βέβαια αυτή η μέθοδος δεν θεωρείται επαρκώς αξιόπιστη για να εξασφαλίσει τη λειτουργική αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος (δηλαδή On-demand απαιτήσεις ή διαφορές ενέργειας, οι οποίες αφήνονται στην καλή θέληση και την αυτορρύθμιση της αγοράς για την κάλυψη τους). Το τελευταίο οφείλεται κυρίως στην αμεσότητα για κάλυψη των αναγκών ενέργειας, η οποία δεν επιτρέπει χρονικές καθυστερήσεις στην κάλυψη, αλλιώς οι καταναλωτές ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα μείνουν χωρίς ισχύ. Η φυσική αντανάκλαση μιας ανισορροπίας προϊόντων ανάμεσα στη ζήτηση και την προσφορά τους, είναι η ανισορροπία μεταξύ φορτίων και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ανισορροπία πρέπει να αποκατασταθεί άμεσα ώστε το ηλεκτρικό σύστημα να παραμείνει σταθερό. Το θέμα της ευστάθειας των ηλεκτρικών συστημάτων είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα, το οποίο όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια απαιτεί διαθέσιμες εφεδρείες και εναλλακτικές παραγωγής σε πολλαπλά επίπεδα για την διασφάλιση του.

Οι ηλεκτρονικές αγορές για ορισμένα χρηματοπιστωτικά προϊόντα έχουν γίνει εξαιρετικά ταχείες στις αντιδράσεις αγοραπωλησίας στα χρηματιστήρια, τα τελευταία χρόνια. Αυτή η μορφή αυτοματοποιημένων συναλλαγών στηρίζεται σε περιορισμένο αριθμό σημάτων που σχετίζονται με τις διακυμάνσεις των τιμών των προϊόντων. Λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα τιμή ενός προϊόντος κάποιος αγοραστής μπορεί μέσω των συναλλαγών, να επιλέξει την αγορά του, εφόσον όμως έχει την πολυτέλεια να μπορεί να αναμένει τις διαδικασίες μεταβολής των τιμών μιας αγοράς. Αντίθετα, η διατήρηση της σταθερότητας του ηλεκτρικού συστήματος απαιτεί διασυνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση στο χρόνο ενός μεγάλου αριθμού φυσικών παραμέτρων. Στη σημερινή εποχή, παρά τη διαθέσιμη τεχνολογία, αυτό παραμένει ένα προκλητικό και ανοικτό πρόβλημα. Η λύση του προβλήματος πρέπει να αναπτύξει ένα μηχανισμό που θα επιτρέπει σε πολλές γεννήτριες και καταναλωτές να επεξεργάζονται αυτές τις πληροφορίες με επαρκή ταχύτητα. Σε μία τέτοια βάση θα μπορούσαν να πραγματοποιούν ταχύτατες συναλλαγές που θα αποκαθιστούν αξιόπιστα την ισορροπία μεταξύ της κατανάλωσης και της παραγωγής ενέργειας.

Θα πρέπει να ξεκαθαριστεί από την παρουσίαση του προβλήματος, ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που προορίζεται για την εξισορρόπηση του συστήματος, δεν συνιστά μια αγορά με τιμή άμεσης απόδοσης. Σε αυτό τον τομέα αγοράς ενέργειας, ο διαχειριστής του συστήματος (ΔΣ) επικεντρώνεται αποκλειστικά στη διασφάλιση της ηλεκτρικής ισορροπίας και όχι στην επίτευξη της βέλτιστης τιμής για την αγορά ενέργειας. Αντιθέτως, πρόκειται για μια "διαχειριζόμενη αγορά άμεσης απόδοσης". Στην αγορά εξισορρόπησης, ο διαχειριστής του συστήματος είναι ο μοναδικός αντισυμβαλλόμενος σε όλες τις συναλλαγές. Αυτό σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες δεν πραγματοποιούν αγοραπωλησίες μεταξύ τους, αλλά συναλλάσσονται αποκλειστικά με τον διαχειριστή του ηλεκτρικού συστήματος. Ο τελευταίος καθορίζει την απαιτούμενη ισχύ για την εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου και τις εφεδρείες που κρίνει αναγκαίες. Η τιμή άμεσης απόδοσης υπολογίζεται βάσει των προσφορών και των διαθέσεων ισχύος που υποβάλλονται από τους συμμετέχοντες στην αγορά και επιλέγονται από τον διαχειριστή. Κάθε διαχειριστής συστήματος διαθέτει τη δική του αγορά. Όλοι οι παραγωγοί, οι πωλητές λιανικής, οι μεγάλοι καταναλωτές και οι μεταπωλητές που δραστηριοποιούνται στην ενέργεια στην

περιοχή που εποπτεύεται από έναν διαχειριστή του συστήματος, υποχρεούνται να τηρούν τους κανόνες που αυτός επιβάλλει για την εξισορρόπηση. Συγκεκριμένα, οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ της ενέργειας που έχει δεσμευτεί συμβατικά από έναν συμμετέχοντα στην αγορά και της ενέργειας που πραγματικά προσέφερε ή κατανάλωσε ο προηγούμενος, ρυθμίζεται στην τιμή της αγοράς άμεσης απόδοσης. Για παράδειγμα, εάν ένας παραγωγός έχει πωλήσει 100 MW σε διάφορους εμπόρους λιανικής και μεταπωλητές αλλά έχει παραγάγει μόνο 97 MW κατά τη διάρκεια παραγωγής μιας συγκεκριμένης περιόδου διαπραγμάτευσης στην άμεση αγορά, η διαφορά ισχύος θα πρέπει να καλυφθεί από τον διαχειριστή του συστήματος άμεσα. Αυτό θα γίνει μέσω άμεσης αγοράς ισχύος για να διατηρηθεί η ισορροπία του ηλεκτρικού συστήματος.

Από οικονομική σκοπιά, ο παραγωγός θεωρείται ότι αγόρασε την αντίστοιχη ποσότητα ενέργειας στην τρέχουσα τιμή της αγοράς. Αντίστοιχα, ένας έμπορος λιανικής που έχει συνάψει συμβόλαιο για 100 MW αλλά έχει καταναλώσει μόνο τα 96 MW εξ'αυτών, κατά τη διάρκεια μιας περιόδου διαπραγμάτευσης, θεωρείται ότι πώλησε τη διαφορά στην τρέχουσα τιμή της αγοράς.

Ανεξαρτήτως των τεχνικών παραμέτρων που διέπουν τη διαχείριση της άμεσης αγοράς, είναι απαραίτητο η λειτουργία της να είναι οικονομικά αποδοτική. Η ανισορροπία μπορεί να είναι αναπόφευκτη για τους παραγωγούς και τους καταναλωτές ενός ηλεκτρικού συστήματος. Αν όμως συμβεί κάτι τέτοιο δεν θα πρέπει να είναι χωρίς οικονομικό κόστος για όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά. Για να προωθηθεί μια πιο συνεπής και αποτελεσματική συμπεριφορά, οι παραγωγοί και οι καταναλωτές που βρίσκονται σε κατάσταση ανισορροπίας οφείλουν να καταβάλουν το πραγματικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζουν ή πωλούν στην άμεση αγορά. Αυτή η διαδικασία είναι αναγκαία για την αποκατάσταση της ισορροπίας μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι, εάν ένας συμμετέχων στην αγορά είναι εκτός ισορροπίας αλλά συμβάλλει θετικά στο σύστημα (δηλαδή προσφέρει περισσότερη ισχύ είτε μέσω παραγωγής είτε μέσω εξοικονόμησης), θα πρέπει να ανταμειφθεί αναλόγως, διότι συμβάλλει στην αποκατάσταση της σταθερότητας στο σύστημα.

Μια αποδοτική αγορά με τιμή άμεσης απόδοσης παρέχει στους συμμετέχοντες την εμπιστοσύνη ότι οι ανισορροπίες θα επιλυθούν με δίκαιο τρόπο. Όταν εφαρμοστεί ένας τέτοιος μηχανισμός (προϋπόθεση), η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε προθεσμιακές αγορές, όπως συμβαίνει με άλλα αγαθά και εμπορεύματα. Ανάλογα με την εκάστοτε δικαιοδοσία, η άμεση αγορά μπορεί να αναφέρεται ως "αγορά σε πραγματικό χρόνο", ή "αγορά εξισορρόπησης", ή "ενδοημερήσια αγορά" ή "μηχανισμός εξισορρόπησης". Η περίοδος διαπραγμάτευσης των αγοραπωλησιών ενέργειας κυμαίνεται από 1 ώρα έως 5 λεπτά. Βέβαια οι πραγματικές εφαρμογές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από το προτεινόμενο σχέδιο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής άμεσης απόδοσης για μία δεδομένη χρονική στιγμή (t) στο σύστημα:

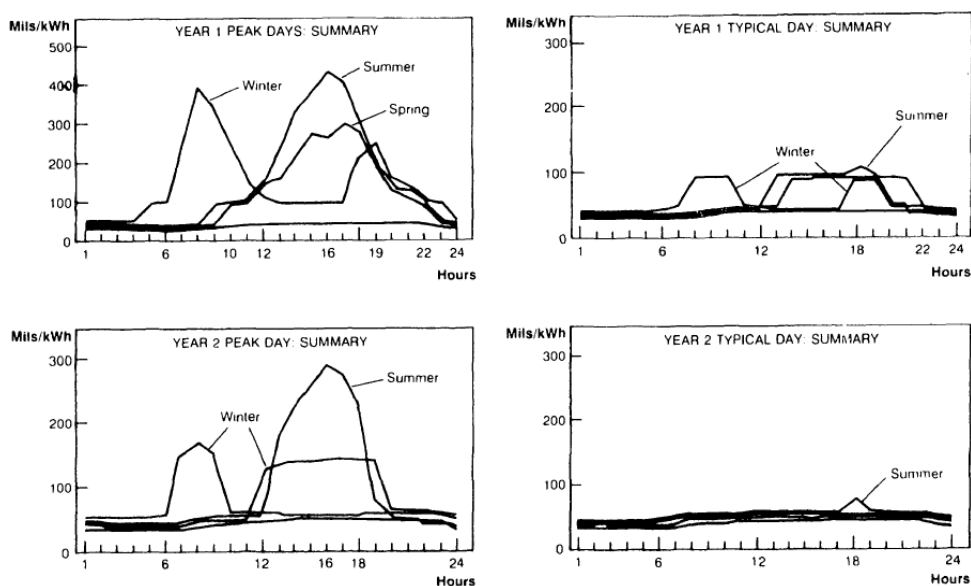
- Ο παράγοντας οριακού κόστους καυσίμου για την παραγωγή (Generation Marginal Fuel)
- Ο παράγοντας οριακού κόστους διατήρησης της παραγωγής σε λειτουργία (Generation Marginal Maintenance)
- Ο παράγοντας κόστους διασφάλισης ποιότητας της ισχύος (Generation Quality of Supply)
- Ο παράγοντας κόστους ανάκτησης παραγωγής (Generation Revenue Reconciliation)
- Ο παράγοντας ποιότητας τροφοδοσίας εκ μέρους του δικτύου (Network Marginal Losses)

- Ο παράγοντας ποιότητας δικτύου τροφοδοσίας για κάθε καταναλωτή (Network Quality of Supply) και
- Ο παράγοντας κόστους ανάκτησης κεφαλαίου δικτύου (Network Revenue Reconciliation) για τον κάθε καταναλωτή

Οι προαναφερόμενοι παράγοντες [5], αποτελούν ένα σύνολο από θεμελιωμένες παραμέτρους στην ερευνητική βιβλιογραφία για την ανάλυση του προβλήματος, με στόχο την στάθμιση και αποτίμηση μίας μονάδας ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Κάθε ένας από τους προηγούμενους παράγοντες μπορεί να εξαρτάται και από ένα πλήθος άλλων συνεπαγόμενων παραμέτρων, ορισμένοι από τους οποίους μπορεί να είναι στοχαστικοί (μη προβλέψιμοι), ως προς την διαμόρφωση τους. Ένας τέτοιος παράγοντας μπορεί να είναι τα επίπεδα φορτώσεως των γραμμών μεταφοράς ισχύος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

Μία χωρική διαφορά στην τιμολόγηση προκύπτει από τις ανισότητες στις απώλειες γραμμής και το γεγονός ότι ορισμένες γραμμές μπορεί να είναι υπερφορτωμένες σε συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου, ενώ παραμένουν σε λειτουργία. Οι υπόλοιπες ροές γραμμών μπορούν να διατηρούνται εντός των ορίων υπερφόρτωσης. Στην πράξη, οι τιμές άμεσης απόδοσης θα παραμένουν ίδιες για τους περισσότερους καταναλωτές μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, ενώ προφανώς θα επηρεαστούν για τους καταναλωτές που συνδέονται με τις υπερφορτωμένες γραμμές μεταφοράς.

Η παραγωγή και η ποιότητα του δικτύου ενδέχεται να προκαλέσουν εξαιρετικά υψηλές τιμές υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Υποθέτοντας ότι μια αγορά ενέργειας αποτελείται από ένα συνδυασμό καταναλωτών που χρησιμοποιούν ωριαίες τιμές και άλλων που προτιμούν μακροπρόθεσμες (προκαθορισμένες) τιμές, σε αυτή την περίπτωση, μετά την επίτευξη του "κόστους διακοπής της προκαθορισμένης τιμής", οι καταναλωτές προκαθορισμένης τιμής καθορίζουν ένα ανώτατο όριο για την ωριαία τιμή άμεσης απόδοσης. Έτσι, όταν η ωριαία τιμή φτάσει στο επίπεδο του κόστους διακοπής τους, η ομάδα των καταναλωτών με προκαθορισμένες τιμές θα έχει επιτύχει μια μειωμένη ωριαία τιμή εφόσον αποχωρεί από την κατανάλωση του ηλεκτρικού δικτύου (εφόσον αυτό είναι δυνατόν).



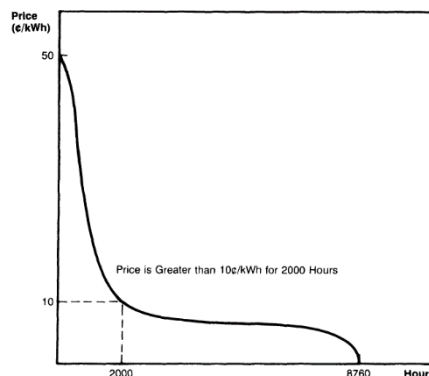
Σχήμα 16: Ενδεικτικά διαγράμματα ωριαίας τιμής άμεσης απόδοσης σε διάρκεια 24 ωρών[5]

Η ωριαία τιμή άμεσης απόδοσης προφανώς θα πρέπει να θεωρείται τυχαία μεταβλητή, καθώς η ζήτηση και οι διακοπές στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι επίσης τυχαίες μεταβλητές. Το

προηγούμενο σχήμα απεικονίζει τις αναμενόμενες τροχιές διακύμανσης των τιμών άμεσης απόδοσης για 24 ώρες, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση από τη θέση των καταναλωτών. Επιπλέον θεωρείται ότι η ζήτηση ισχύος των καταναλωτών είναι ανεξάρτητη από την τιμή άμεσης απόδοσης. Αυτές οι χρονικές διακυμάνσεις αντιπροσωπεύουν την υπό όρους προβλεπόμενη τιμή άμεσης απόδοσης, η οποία υπολογίζεται σε ισοδύναμο επίπεδο ζήτησης, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις των διακοπών στο δίκτυο παραγωγής, οι οποίες έχουν υπολογιστεί κατά μέσο όρο.

Οι 24ωρες διακυμάνσεις της τιμής άμεσης απόδοσης προσφέρουν μια αναπαράσταση της συμπεριφοράς των ωριαίων τιμών άμεσης απόδοσης. Μια εναλλακτική προοπτική προκύπτει από την εστίαση σε μια καμπύλη διάρκειας, η οποία καθορίζει την κατανομή πιθανότητας των ωριαίων τιμών άμεσης απόδοσης.

Μια τέτοια ετήσια καμπύλη διακύμανσης τιμών μπορεί να θεωρηθεί ότι συνοψίζει τις πληροφορίες που περιέχονται σε 365 ημέρες αναμενόμενων διακυμάνσεων τιμών, όπως απεικονίζεται στο επόμενο διάγραμμα. Το σχήμα της καμπύλης που προκύπτει είναι παρόμοιο με την καμπύλη διάρκειας ενός φορτίου. Οι καμπύλες διάρκειας μπορούν να υπολογιστούν είτε για ένα έτος είτε για μικρότερες χρονικές περιόδους.



Σχήμα 17: Ετήσια καμπύλη απόδοσης τιμών [5]

Μια καμπύλη διάρκειας τιμής μπορεί να υπολογιστεί μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων:

- Συγκέντρωση των αναμενόμενων διακυμάνσεων τιμής άμεσης απόδοσης από προηγούμενα έτη με στατιστική επεξεργασία
- Εφαρμογή προσομοιώσεων Monte Carlo
- Χρήση πιθανοτικών συνελίξεων

Οι μέθοδοι αυτές παρέχουν παρόμοια αποτελέσματα των τάσεων διακύμανσης των τιμών άμεσης απόδοσης, αν και τα αποτελέσματα τους δεν είναι απολύτως ταυτόσημα. Λόγω της στοχαστικότητας που υπεισέρχεται στην έννοια των προβλέψεων, μπορούν να αποτελέσουν μόνο μέσες εκτιμήσεις για την απόδοση άμεσης τιμής, δεδομένου ότι μπορούν να μεταβληθούν σημαντικά υπό την επίδραση απρόβλεπτων καταστάσεων στο ηλεκτρικό δίκτυο (υπερφόρτωση, βλάβη, διακοπές λειτουργίας από καιρικά φαινόμενα, κ.λπ.).

2.2 Η τιμή Εκκαθάρισης της Αγοράς και το Οριακό Κόστος

Στην ιδανική περίπτωση, το επίπεδο λειτουργικής αξιοπιστίας σε ένα ηλεκτρικό σύστημα θα πρέπει να προσδιορίζεται μέσω μιας ανάλυσης κόστους/οφέλους. Αυτή η ανάλυση θα προσδιορίσει αυτό το επίπεδο στο βέλτιστο σημείο επιλογής για την αγορά και την πώληση ηλεκτρικής ισχύος σε ένα δίκτυο, οπότε έτσι θα προκύψει το βέλτιστο οριακό κόστος της διαδικασίας. Επομένως ο διαχειριστής του ηλεκτρικού συστήματος συγκεντρώνει από τους παραγωγούς τα προσφερόμενα ποσά ενέργειας στο χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες καταναλώσεις και επιλέγει την βελτιστοποιημένη κάλυψη των αναγκών του δικτύου μέσω βέλτιστων επιλογών. Ενώ το οριακό κόστος είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστεί με χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης, η οριακή τιμή αντιπροσωπεύει κυρίως το αναμενόμενο κόστος για τους καταναλωτές. Το ακριβές κόστος είναι πολύ πιο δύσκολο να υπολογιστεί στην πράξη, δεδομένου ότι η εκτέλεση ανάλυσης κόστους/οφέλους σε κάθε περίπτωση δεν είναι πρακτική. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πρότυπα αξιοπιστίας που προσεγγίζουν τη βέλτιστη λύση. Αυτά τα πρότυπα συνήθως καθορίζουν τις απρόβλεπτες συνθήκες που ένα σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίσει. Έχουν αναπτυχθεί εξελιγμένα μοντέλα και υπολογιστικά εργαλεία για να βοηθήσουν τους διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να διαχειρίζονται το σύστημα ισχύος σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα και να ποσοτικοποιούν τις βοηθητικές υπηρεσίες που χρειάζονται για την επίτευξη αυτού του στόχου (ευστάθεια). Η συζήτηση αυτών των τεχνικών αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο, κάνοντας χρήση και άλλων τεχνολογιών και μεθόδων, εκτός από το εγγενές πρόβλημα κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων ενός δικτύου. Οι Billinton και Allan (1996) κάνουν μια εξαντλητική συζήτηση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των απαιτήσεων αποθεματικών ισχύος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Μια μέθοδος για τον προσδιορισμό και την κατανομή των αναγκών αέργου ισχύος περιγράφεται από τους Pudjianto et al. (2002) [4].

Εάν το κόστος λειτουργίας του συστήματος απλώς μετακυλίεται στους καταναλωτές, οι διαχειριστές του συστήματος χρειάζεται μόνο να αγοράσουν περισσότερους πόρους ενέργειας για να διασφαλίσουν την αξιοπιστία του δικτύου. Η ύπαρξη αποθεματικών πόρων για χρήση σε περίπτωση δυσκολιών και απρόβλεπτων συνθηκών, κάνει τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος περισσότερο αξιόπιστη. Ως εκ τούτου, είναι επιθυμητό να αναπτυχθεί ένα σύστημα κινήτρων που ενθαρρύνει τους διαχειριστές συστημάτων, όχι μόνο να ελαχιστοποιούν το κόστος αγοράς αποθεματικών πόρων ενέργειας για αξιόπιστη λειτουργία, αλλά και να περιορίζουν την ποσότητα των πόρων που αγοράζονται σε αυτό που είναι πραγματικά απαραίτητο.

Ο καθορισμός της τιμής για ένα απόθεμα αξιοπιστίας στο σωστό επίπεδο δεν είναι εύκολος, επειδή η προμήθεια ενός συγκεκριμένου ποσού ενέργειας συχνά δεν μπορεί να αποσυνδεθεί από την προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλων συναφών υπηρεσιών. Στα πρώτα χρόνια των ανταγωνιστικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό το ζήτημα δεν ήταν πλήρως κατανοητό. Η ενέργεια και κάθε είδος αποθεματικού αυτής, διακινούνταν σε ξεχωριστές αγορές. Οι αγορές αυτές εκκαθαρίζονταν διαδοχικά με μια σειρά που καθοριζόταν από την ταχύτητα απόκρισης κάθε "εφεδρικού" παραγωγού. Για παράδειγμα, εκκαθαρίζεται πρώτα η αγορά πρωτογενούς αποθέματος, ακολουθούμενη από την αγορά δευτερογενούς αποθεματικού και, τέλος, επιλυόταν το ίδιο το πρόβλημα της αγοράς ενέργειας. Η ιδέα ήταν ότι τα ενεργειακά αποθέματα που δεν διατίθενται επιτυχώς σε μια αγορά θα μπορούσαν στη συνέχεια να προσφερθούν σε άλλες αγορές, όπου οι απαιτήσεις απόδοσης δεν θα ήταν τόσο απαιτητικές. Οι προσφορές ενέργειας που ήταν επιτυχείς σε μία αγορά προφανώς δεν θα ληφθούν υπόψη στις επόμενες εκκαθαρίσεις αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρακτική εμπειρία στο πρόβλημα έδειξε ότι αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε

προβλήματα. Για το λόγο αυτό εγκαταλείφθηκε (Oren 2002 για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με αυτά τα προβλήματα).

Υπάρχει πλέον ευρεία συναίνεση ότι η ηλεκτρική ενέργεια και τα αποθέματα της πρέπει να προσφέρονται σε κοινές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι αγορές πρέπει να εκκαθαρίζονται ταυτόχρονα για να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης και αποθεμάτων. Αυτή η συν-βελτιστοποίηση είναι απαραίτητη λόγω της ισχυρής αλληλεπίδρασης μεταξύ της παροχής ενέργειας για άμεση κατανάλωση και της παροχής ενέργειας για τη συγκρότηση αποθεματικών. Για να γίνει περισσότερο αισθητή αυτή η αλληλεπίδραση, αν θεωρηθεί ότι για να διασφαλιστεί εφεδρεία, τότε οι γεννήτριες των παραγωγών πρέπει να λειτουργούν υπό μερικό φορτίο. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας έχει πολλές συνέπειες για τις ίδιες τις γεννήτριες:

- Οι γεννήτριες με μερικό φορτίο δεν αποδίδουν στο προβλεπόμενο μέγιστο τους
- Για να καλύψουν τη ζήτηση, πρέπει να βασιστούν σε άλλες γεννήτριες, οι οποίες είναι γενικά πιο ακριβές και παράγουν περισσότερη ισχύ συνολικά για το σύστημα
- Η απόδοση των περιστρεφόμενων γεννητριών που παρέχουν εφεδρεία μπορεί να είναι μικρότερη από ό,τι θα ήταν εάν λειτουργούσαν με πλήρες φορτίο. Επομένως, αυτές οι γεννήτριες μπορεί να χρειαστεί να πληρωθούν περισσότερο για την ενέργεια που παρέχουν λόγω της φθοράς και των απωλειών.

Επομένως, η έννοια του οριακού κόστους, ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μεταξύ κατανάλωσης - παραγωγής ενέργειας, θα πρέπει εξ'αρχής να συμπεριλάβει και το πρόβλημα εφεδρείας και του αποθεματικού ισχύος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, κάνοντας ταυτόχρονη και κοινή βελτιστοποίηση για την επίλυση τους. Εντούτοις ακόμη και η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση του προβλήματος μπορεί να δημιουργήσει αυξημένα κόστη οριακής τιμής δεδομένου του αρχικού κόστους ενεργοποίησης των μονάδων παραγωγής καθώς και της μερικής εκμετάλλευσης των αποδόσεων των παραγωγών.

2.3 Προγραμματισμός, Συναλλαγές και Λειτουργία μιας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η λειτουργία μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από τα διάφορα είδη συναλλαγών που διατίθενται στην συγκεκριμένη αγορά. Επιπλέον, επηρεάζεται και από τα συστήματα επικοινωνίας για την επίτευξη των αγοραπωλησιών καθώς και από τις διαδικασίες μέτρησης και τιμολόγησης της ενέργειας στους καταναλωτές. Οι τρεις βασικοί τύποι συναλλαγών στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- **Αγοραπωλησίες βασιζόμενες μόνο σε Τιμή:** Κριτήριο για την επιλογή είναι η προκαθορισμένη τιμή ανά μονάδα ενέργειας (kWh) που ορίζεται εκ των προτέρων από τον παραγωγό. Οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να καταναλώνουν όση ενέργεια επιθυμούν με αυτή τη χρέωση.
- **Αγοραπωλησίες βασιζόμενες σε Τιμή - Ποσότητα:** Οι καταναλωτές δεσμεύονται να προσαρμόσουν την κατανάλωσή τους, περιοριζόμενοι σε μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας, για να διασφαλίσουν την προσφερόμενη τιμή από τον παραγωγό.
- **Αγοραπωλησίες βασιζόμενες σε Μακροπρόθεσμα Συμβόλαια/Αγορά Μελλοντικής Εκπλήρωσης:** Στις αγοραπωλησίες αυτού του τύπου παρέχεται μια

σταθερή χρέωση στους καταναλωτές για μια προκαθορισμένη ποσότητα ενέργειας σε καθορισμένο χρονικό διάστημα κατανάλωσης.

Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τους παραπάνω τύπους συναλλαγών είναι οι εξής:

- **Χρονική Διάρκεια του κύκλου Αγοραπωλησίας:** Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των επανακαθορισμών των νέων τιμών ή της αναθεώρησης των συμβάσεων για την αγοραπωλησία της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ καταναλωτών - παραγωγών.
- **Ορισμός περιόδων εντός του κύκλου:** Ο αριθμός των επιμέρους περιόδων που περιλαμβάνονται στη διάρκεια του κύκλου. Σε αυτά τα επιμέρους χρονικά τμήματα που συνθέτουν την χρονική περίοδο της διάρκειας αγοραπωλησίας, ο παραγωγός προσυμφωνημένα μπορεί να μεταβάλλει σε καθορισμένα όρια την παρεχόμενη ενέργεια προς τους καταναλωτές.
- **Αριθμός Επιπέδων τιμών χρέωσης ή ποσότητας:** Ο αριθμός των διαφορετικών επιπέδων τιμής χρέωσης ή ποσότητας, εφόσον προβλέπεται κλιμακούμενη τιμή με βάση τα καταναλισκόμενα ποσά ενέργειας μεταξύ του παραγωγού και του καταναλωτή.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρέχει μια συνοπτική παρουσίαση ορισμένων από τις πολλές δυνατές συναλλαγές σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, υπό την προϋπόθεση ότι η περίοδος χρέωσης διαρκεί έναν μήνα. Οι τιμές και οι αντίστοιχες εγγραφές τιμής - ποσότητας μονάδας ενέργειας στον πίνακα, είναι διπλές. Κάθε μία από αυτές μπορεί να υλοποιηθεί με τον ίδιο τύπο υλικού για τις διαδικασίες επικοινωνίας, μέτρησης και τιμολόγησης. Η πρώτη γραμμή του πίνακα απαιτεί έναν μετρητή καταχώρησης, ενώ η δεύτερη μπορεί να υλοποιηθεί με έναν μετρητή δύο καταχωρητών (για τη μέτρηση της χρονικής περιόδου και της ποσότητας).

Πίνακας 3: Παραδείγματα πιθανών μοντέλων συναλλαγών, επικοινωνίας, μέτρησης, τιμολόγησης

Υπάρχοντα Συστήματα
Ταχυδρομείο
Τύπος (εφημερίδες)
Εμπορικά προγράμματα Ραδιοφώνου/Τηλεόρασης
Τηλεφωνικές Κλήσεις
- Αιτούμενες από τον Καταναλωτή
- Αιτούμενες από την Υπηρεσία προς τον Καταναλωτή
- Ψηφιακά Δεδομένα – Αυτοματοποιημένες Φωνητικές Κλήσεις – Κλήσεις από άνθρωπο
Ειδικά Συστήματα
- Ενημέρωση από εκπομπές Ραδιοφώνου
- Διαμόρφωση των Εμπορικών Υπηρεσιών από Σταθμούς
- Ιδιωτικοί Πομποί
- Δορυφόροι
Τηλεφωνικά Κυκλώματα
- Μισθωμένες Τηλεφωνικές Γραμμές
- Πάροχος ο οποίος δεν παρεμβάλλεται στην κοινή τηλεφωνική χρήση
Γραμμές Ισχύος
- Έλεγχος Κυματώσεων
- Φέρον Επικοινωνίας Χαμηλής Συχνότητας (μικρότερη από 6 KHz) για να διέρχεται από τους Μ/Σ
- Φέρον Υψηλής Συχνότητας
- Άλλες Τεχνικές Διαμόρφωσης

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι, η δυαδικότητα του υλικού στον Πίνακα δεν οδηγεί σε ομοιόμορφη αντίδραση από τους καταναλωτές, ούτε σε αποδοχή ή αξία χρέωσης. Ένα σημαντικό στοιχείο των συναλλαγών που σχετίζονται με την τιμή και την ποσότητα ενέργειας, είναι ότι δεν εστιάζει αποκλειστικά στην τιμή χρέωσης, αλλά εξετάζει και τις συνέπειες εάν ο καταναλωτής δεν τηρήσει την αλλαγή στην συμφωνηθείσα ποσότητα κατανάλωσης. Η μη συμμόρφωση θεωρείται ως εφαρμοστέα όταν η εταιρεία κοινής ωφέλειας την κοινοποιήσει στον καταναλωτή. Υπάρχουν τρεις πιθανές προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιβολή των όρων αγοραπωλησίας στους καταναλωτές για το πρόβλημα εκκαθάρισης:

- Η έλλειψη συμμόρφωσης επιφέρει χρηματική ποινή για τον καταναλωτή
- Η μη συμμόρφωση οδηγεί σε απώλεια του δικαιώματος συμμετοχής σε μελλοντική τιμολόγηση για τη συναλλαγή
- Η μη συμμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή όλων των υπηρεσιών προς τον καταναλωτή

Το πρόστιμο (penalty) σε οικονομικό επίπεδο μετατρέπει ουσιαστικά τη σύμβαση που αφορά την τιμή και την ποσότητα σε μια απλή σύμβαση τιμής. Η απώλεια του δικαιώματος συμμετοχής σε μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας ενός καταναλωτή με συγκεκριμένη τιμή, σύμφωνα με τα συμβόλαια, δεν απαιτεί πρόσθετο εξοπλισμό μέτρησης ή χρέωσης. Εάν η συνέπεια της μη συμμόρφωσης είναι η διακοπή όλων των υπηρεσιών προς τον καταναλωτή, τότε απαιτούνται επιπλέον διακόπτες ισχύος για την επιβολή της διακοπής της παροχής ενέργειας, με αποτέλεσμα η δυαδικότητα του υλικού που χρησιμοποιούνταν προηγουμένως να μην ισχύει πλέον με την αυστηρή έννοια για την παροχή ισχύος.

Η πρώτη, η έκτη και η τελευταία σειρά του προηγούμενου πίνακα αναφέρονται στην ενημέρωση της περιόδου χρέωσης, σε 24ωρη ενημέρωση και στην τρέχουσα τιμή ενημέρωσης οριακού κόστους ανά ώρα. Λόγω της δυαδικότητας που υπάρχει στις συναλλαγές συμβολαίων τιμής - ποσότητας και τιμής μόνο, οι συζητήσεις σχετικά με την εφαρμογή κανόνων μη συμμόρφωσης εστιάζουν αποκλειστικά σε συναλλαγές που αφορούν μόνο στην τιμή. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένες συναλλαγές τιμής - ποσότητας που δεν έχουν αντίστοιχες σε συναλλαγές μόνο τιμής, όπως:

- Έλεγχος άμεσου φορτίου: Οι μεμονωμένες συσκευές ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται ανάλογα με τη χρήση τους
- Συνδρομητική Υπηρεσία Ζήτησης: Επιβάλλεται χρονικά μεταβαλλόμενο όριο κάλυψης ισχύος για τις ανάγκες των καταναλώσεων του καταναλωτή

Τα ζητήματα εφαρμογής που αφορούν τις συναλλαγές τιμής - ποσότητας έχουν εξεταστεί ξεχωριστά. Οι συμβάσεις τιμής - ποσότητας προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα νέας προσφοράς μεταξύ των καταναλωτών. Ο Πίνακας περιλαμβάνει μόνο δύο ή απεριόριστα επίπεδα χρέωσης (σε σχέση με την κλιμάκωση των τιμών). Στην πράξη, η χρήση τριών έως πέντε επιπέδων χρέωσης μπορεί συχνά να είναι πιο επιθυμητή σε σύγκριση με τα δύο επίπεδα.

Δύο σημαντικά ζητήματα σχεδίασης που αφορούν στην υλοποίηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να προσδιοριστούν:

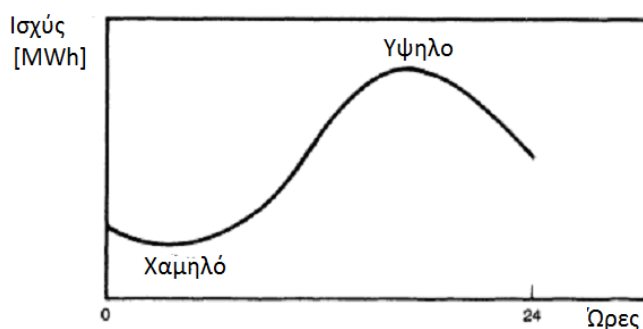
- Προσδιορισμός των Κατηγοριών των προσφερόμενων συναλλαγών

- Εφαρμογή αυτών των προβλεπόμενων Κατηγοριών

Όταν επιλέγεται ένα σύνολο τύπων συναλλαγών που πληρούν τους επιθυμητούς στόχους, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι οι ανάγκες μιας εταιρείας κοινής ωφέλειας μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου.

Η ιστορία των Ηνωμένων Πολιτειών στην αυτορρυθμιζόμενη - απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει δείξει ότι συχνά παρατηρούνται περίοδοι ανεπαρκούς ικανότητας για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, καθώς και περίοδοι πλεονάζουσας ενέργειας.

Αυτές οι διακυμάνσεις είναι πιθανό να συνεχιστούν και στο μέλλον. Για το λόγο αυτό, μπορούν να εφαρμοστούν συναλλαγές που σχετίζονται μόνο με την τιμή, καθώς και ορισμένες συναλλαγές τιμής - ποσότητας, με σκοπό την κάλυψη όλων των συνθηκών που συνοψίζονται στο παρακάτω σχήμα. Ορισμένοι τύποι συμβολαίων τιμής - ποσότητας, όπως ο άμεσος έλεγχος του φορτίου του καταναλωτή, οι συσκευές και τα όρια ζήτησης, είναι πιο περιορισμένοι όσον αφορά τους τύπους συνθηκών για τις οποίες είναι αποτελεσματικές οι χρεώσεις.



Σχήμα 18: Επίδραση των αλλαγών φορτίου καταναλωτών στην παραγωγική ικανότητα του παρόχου [5]

Εξετάζοντας το παραπάνω θέμα από την πλευρά του παρόχου, η επιλογή των τύπων συναλλαγών που θα διατεθούν αποτελεί μια συνθήκη ισορροπίας μεταξύ του κόστους υλοποίησης του δικτύου παραγωγής του παρόχου και του συνολικού ποσού χρέωσης που θα καταβάλει ο καταναλωτής. Η αξιολόγηση του κόστους σε σχέση με τα οφέλη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω καθιερωμένων τεχνικών σχεδίασης συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι σημαντικό να εξεταστεί η επιλογή των συναλλαγών στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι επιλογές προβλέπονται προκειμένου να ικανοποιήσουν τις επιθυμίες και τις ανάγκες των καταναλωτών. Οι ανάγκες αυτές μπορούν να αναλυθούν μέσω της μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των καταναλωτών σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Στην πράξη, είναι προτιμότερο να ληφθεί υπόψη η άποψη του καταναλωτή με πιο σαφή και κατανοητό τρόπο. Τα ζητήματα που απασχολούν τους καταναλωτές περιλαμβάνουν:

- Μέγιστη αξιοποίηση του αντιληπτού οφέλους κόστους από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας
- Μέγιστη προστιθέμενη αξία για την ηλεκτρική ενέργεια (για μια επιχείρηση)
- Ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας στις συναλλαγές
- Ελαχιστοποίηση του μηνιαίου λογαριασμού

- Ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας στους λογαριασμούς και στη διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας
- Διατήρηση του μέγιστου ελέγχου των περιουσιακών στοιχείων (από την πλευρά του παρόχου και του καταναλωτή)
- Ανάπτυξη ενός πνεύματος συνεργασίας και εμπιστοσύνης μεταξύ αγοράς - κατανάλωσης

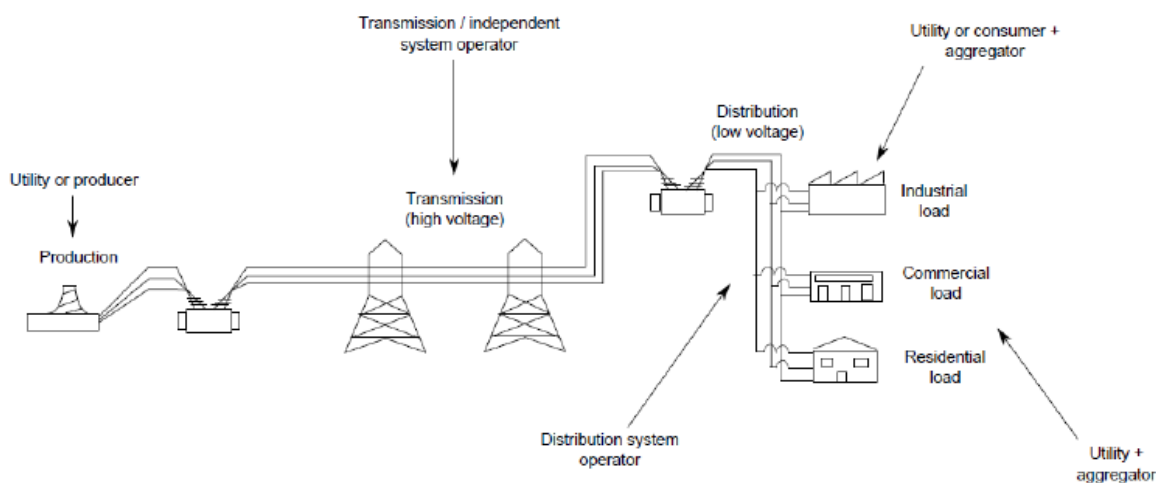
Ορισμένα από αυτά τα ζητήματα είναι δύσκολα να ενσωματωθούν στην επίσημη ανάλυση κόστους - οφέλους και πολύ περισσότερο στον καθορισμό του οριακού κόστους σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, ωστόσο δεν θα πρέπει να παραβλεφθούν σε ένα "δίκαιο σύστημα συναλλαγών".

2.4 Οι συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για την περαιτέρω ανάλυση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να συμπεριληφθούν οι ρόλοι και οι απαιτήσεις όλων όσων συμμετέχουν σε αυτήν, εκτός από τις δομικές και τις φυσικές οντότητες. Οι συμμετέχοντες στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- Καταναλωτές
- Πωλητές/Μεταπωλητές
- Παραγωγοί
- Διαχειριστής Δικτύου/Συστήματος

Στη συνέχεια αναλύονται οι ρόλοι και τα χαρακτηριστικά των παραπάνω οντοτήτων, ως προς την απαίτηση για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και οικονομικού κόστους για τη διαμόρφωση των οριακών τιμών. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βασικές δομικές μονάδες που συνθέτουν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 19: Οι δομικές οντότητες που συνθέτουν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [20]

2.4.1 Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Καταναλωτή

Η μικροοικονομική θεωρία υποστηρίζει ότι οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και οι καταναλωτές άλλων αγαθών, αυξάνουν τη ζήτησή τους μέχρι το σημείο όπου το οριακό όφελος από την ηλεκτρική ενέργεια που αποκτούν ισούται με την τιμή που καλούνται να πληρώσουν. Για παράδειγμα, ένας παραγωγός προϊόντων δεν θα προχωρήσει στην παραγωγή προϊόντων εάν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή τους, καθιστά τη διάθεσή τους μη βιώσιμη λόγω σημαντικής αύξησης της τελικής τιμής των προϊόντων κατά την διάθεση τους στην αγορά [4].

Με βάση την ίδια λογική, ο ιδιοκτήτης μιας βιοτεχνίας ρούχων θα αυξήσει την ένταση του φωτισμού των καταστημάτων του μόνο εφόσον παρατηρήσει ότι αυτό προσελκύει περισσότερους καταναλωτές. Τέλος, σε ένα σπίτι κατά τη διάρκεια ενός ψυχρού χειμωνιάτικου βραδιού, υπάρχει ένα σημείο όπου οι περισσότεροι ένοικοι θα επιλέξουν να φορέσουν επιπλέον ρούχα, αντί να αυξήσουν τη θερμοκρασία του θερμοστάτη και να αντιμετωπίσουν έναν υπερβολικά υψηλό λογαριασμό ρεύματος.

Η παρούσα ανάλυση εστιάζει αποκλειστικά στη βραχυπρόθεσμη συμπεριφορά των καταναλωτών, χωρίς να εξετάζει την επιλογή αγοράς νέων συσκευών, μηχανημάτων ή άλλων εγκαταστάσεων που θα μπορούσαν να τροποποιήσουν την πηγή ενέργειας για την λειτουργία τους ή τον τρόπο κατανάλωσης τους.

Εάν οι βιομηχανικοί, εμπορικοί και οικιακοί καταναλωτές υποχρεωθούν να χρεώνονται με μία καθορισμένη τιμή για κάθε kWh που καταναλώνουν, τότε απομακρύνονται από την άμεση απόδοση τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτησή τους επηρεάζεται αποκλειστικά από τις δικές τους δραστηριότητες. Η μέση ζήτησή τους για ορισμένες εβδομάδες ή μήνες αντικατοπτρίζει την προθυμία τους να καταβάλουν την καθορισμένη τιμή που υποχρεώνονται. Η ταχεία μεταβολή της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί ένα σημαντικό ζήτημα. Τα εμπειρικά δεδομένα δείχνουν ότι η ζήτηση μειώνεται ως αντίκτυπος σε μια βραχυπρόθεσμη αύξηση της τιμής. Ωστόσο, αυτή η επίδραση είναι σχετικά περιορισμένη. Η ελαστικότητα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς την τιμή είναι χαμηλή. Σε ένα διάγραμμα που απεικονίζει την τιμή σε σχέση με την ποσότητα, η κλίση της καμπύλης ζήτησης είναι επομένως μεγάλη. Ο ακριβής προσδιορισμός της καμπύλης ζήτησης για ένα αγαθό, όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια, είναι πρακτικά αδύνατος.

Είναι αξιοσημείωτο να συγκρίνουμε τη μέση χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ανταγωνιστική αγορά, με ένα μέτρο που αντικατοπτρίζει την αξία που αποδίδουν οι ίδιοι οι καταναλωτές στη διαθεσιμότητα της. Ένα τέτοιο μέτρο είναι η τιμή του "χαμένου φορτίου" - Value of Lost Load - VoLL. Αυτή η τιμή μπορεί να προσδιοριστεί μέσω ερευνών που διεξάγονται στους καταναλωτές και αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή ανά MWh που είναι διατεθειμένοι να καταβάλουν οι καταναλωτές προκειμένου να αποφύγουν την απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς προειδοποίηση.

Για παράδειγμα, από το 2007 έως το 2013, η μέση τιμή ενέργειας για την αγορά επόμενης ημέρας στους κόμβους διαπραγμάτευσης MISO (Midcontinent Independent System Operator) ήταν 35.85 €/MWh, ενώ η MISO εκτιμά ότι το VoLL ανερχόταν σε 3500 €/MWh.

Δύο οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες μπορούν να φωτίσουν την περιορισμένη ελαστικότητα που παρατηρείται:

- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας συνιστά ένα ποσοστό του συνολικού κόστους παραγωγής για τις περισσότερες βιομηχανικές δραστηριότητες. Παράλληλα, η ηλεκτρική ενέργεια είναι κρίσιμη για τη διαδικασία της κατασκευής και μεταποίησης προϊόντων. Πολλοί άνθρωποι στον βιομηχανοποιημένο κόσμο την θεωρούν αναγκαία για την ποιότητα της ζωής τους. Ως εκ τούτου, οι βιομηχανικοί καταναλωτές είναι πιθανό να μεταβάλλουν δραστικά την παραγωγή τους

προκειμένου να αποφύγουν μια μακροπρόθεσμη αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η εξοικονόμηση αυτή μπορεί να αντισταθμιστεί μόνο από την αύξηση των τιμών των προϊόντων τους. Αντίστοιχα, οι περισσότεροι οικιακοί καταναλωτές δεν έχουν κίνητρο να μειώσουν τον λογαριασμό τους και είναι πιθανό να μην περιορίσουν την άνεση και την ευκολία τους, όταν τα ποσοστά μεταβολής των τιμών ενέργειας είναι μικρά.

- Ο δεύτερος παράγοντας που συμβάλλει στην περιορισμένη ελαστικότητα είναι κυρίως ιστορικός. Από την αρχή της εμπορικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πριν από σχεδόν έναν αιώνα, η ηλεκτρική ενέργεια έχει καθιερωθεί ως "εμπόρευμα που είναι πάντοτε διαθέσιμο". Αντί να μειώνουν απλώς τη ζήτησή τους σε περίπτωση ξαφνικής αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, οι καταναλωτές μπορεί να επιλέξουν να αναβάλουν τη ζήτησή τους μέχρι να υπάρξουν χαμηλότερες τιμές. Για παράδειγμα, ένας παραγωγός μπορεί να καθυστερήσει την ολοκλήρωση ενός ιδιαίτερα ενεργοβόρου σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας μέχρι τη νύχτα, όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένονται να είναι πιο χαμηλές. Παρομοίως, οι οικιακοί καταναλωτές σε ορισμένες χώρες εκμεταλλεύονται τα χαμηλότερα νυχτερινά τιμολόγια, περιμένοντας μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες για να πλύνουν και να στεγνώσουν τα ρούχα τους ή να ζεστάνουν νερό για οικιακή χρήση.

Η μετατόπιση της ζήτησης ενός αγαθού μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εφόσον οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν ενδιάμεσα προϊόντα. Εάν η διαφορά μεταξύ των περιόδων χαμηλών και υψηλών τιμών δεν είναι υπερβολικά μεγάλη, η πραγματική εξοικονόμηση πόρων για τους καταναλωτές ενδέχεται να είναι περιορισμένη, καθώς μόνο ένα μικρό ποσοστό των οικιακών και μικρών εμπορικών φορτίων μπορεί να μετατοπιστεί εγκαίρως χωρίς να προκληθεί σημαντική απώλεια άνεσης ή εσόδων. Ως εκ τούτου, οι περισσότεροι μικροί οικιακοί και εμπορικοί καταναλωτές είναι απίθανο να ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για την χρέωση βάσει τιμών που μεταβάλλονται κάθε ώρα ή πιο συχνά. Σε περίπτωση που επιθυμείται μία τέτοια μετατόπιση των ωρών χρήσης, τα ηλεκτρικά τους φορτία θα πρέπει να ελέγχονται αυτόματα από ένα "Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Καταναλωτή". Ένα τέτοιο (μη διαθέσιμο σύστημα μέχρι την πλήρη εφαρμογή τεχνολογιών για "έξυπνα σπίτια"), θα λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις τιμές και θα προγραμματίζεται ώστε να αντανάκλα τις προτιμήσεις κάθε καταναλωτή.

Στο εγγύς μέλλον, η πλειονότητα των καταναλωτών αναμένεται να συνεχίσει να προμηθεύεται ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός τιμολογίου, δηλαδή με σταθερή τιμή χρέωσης ανά kWh, η οποία προσαρμόζεται πολύ λίγες φορές ετησίως. Ένα τέτοιο τιμολόγιο τους αποτρέπει από τις διακυμάνσεις των τιμών χονδρικής, με αποτέλεσμα να μη συμβάλλουν καθόλου στη βραχυπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης σε σχέση με την τιμή. Η πολύ χαμηλή ελαστικότητα έχει αρνητικές συνέπειες για τη λειτουργία των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4.2 Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Πωλητών/Μεταπωλητών

Οι καταναλωτές που έχουν μέγιστη ζήτηση τουλάχιστον μερικών εκατοντάδων kW μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων, αξιοποιώντας εξειδικευμένο προσωπικό για την πρόβλεψη της ζήτησης, παρακολουθώντας τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να επιτύχουν χαμηλότερες τιμές αγοράς. Αυτοί οι καταναλωτές αναμένεται να συμμετέχουν ενεργά και άμεσα στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, για τους μικρότερους καταναλωτές, μια τέτοια ενεργή συμμετοχή μπορεί να μην είναι

συμφέρουσα. Συνήθως, αυτοί προτιμούν να προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια μέσω σταθερών τιμολογίων με καθορισμένη χρέωση.

Οι πωλητές και μεταπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας λιανικής κλίμακας, προσπαθούν να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ της χονδρικής αγοράς και των μικρότερων καταναλωτών [4].

Η πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι μεσάζοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είναι οι μεταβλητές τιμές στη χονδρική αγορά και η πώλησή της σε σταθερές τιμές στο επίπεδο της λιανικής κατανάλωσης.

Ένας λιανικός πωλητής μπορεί να υποστεί σημαντικές ζημίες κατά τις περιόδους υψηλών τιμών της χονδρικής αγοράς. Ειδικότερα αυτό μπορεί να συμβεί όταν η τιμή που καταβάλλει για την αγορά ενέργειας από την χονδρική αγορά είναι υψηλότερη από την τιμή μεταπώλησης στους τελικούς καταναλωτές. Αντίθετα όμως, ένας πωλητής/μεταπωλητής μπορεί να αποκομίσει σημαντικά κέρδη σε περιόδους χαμηλών τιμών της χονδρικής αγοράς, δεδομένου ότι η τιμή λιανικής πώλησης μπορεί να είναι υψηλότερη από την τιμή χονδρικής αγοράς.

Για να διασφαλιστεί η κερδοφορία της επιχείρησης του πωλητή - μεταπωλητή, η ποσοτικά σταθμισμένη μέση τιμή χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον έμπορο λιανικής θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από την τιμή που χρεώνει στους καταναλωτές του. Αυτό, ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολο να επιτευχθεί. Ο λόγος είναι ότι ο πωλητής (μεσάζων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας), δεν έχει άμεσο έλεγχο στην ποσότητα ενέργειας που καταναλώνουν οι καταναλωτές του. Κάθε πωλητής χρεώνει στους καταναλωτές του την ενέργεια που μετράται από τους μετρητές τους. Εάν, κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε περιόδου, το συνολικό ποσό ενέργειας για όλους τους καταναλωτές του υπερβαίνει την ενέργεια για την οποία έχει συνάψει συμβόλαιο χονδρικής αγοράς, ο πωλητής υποχρεούται να προμηθευτεί τη διαφορά ενέργειας από την αγορά άμεσης παράδοσης στην τιμή που του προσφέρεται για εκείνη την περίοδο on-demand. Σε καμία προφανώς περίπτωση δεν μπορεί να προβλέψει τις τιμές της χονδρικής αγοράς όταν παρουσιαστεί ένα τέτοιο θέμα. Από την άλλη πλευρά ο πωλητής θεωρείται ότι έχει πωλήσει πίσω τη διαφορά στην αγορά άμεσης παράδοσης, εφόσον το ποσό ενέργειας που έχει προγραμματίσει να αγοράσει υπερβαίνει την πραγματική κατανάλωση των καταναλωτών του.

Επομένως ένας πωλητής ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να περιορίσει την έκθεσή του στους κινδύνους που σχετίζονται με τις απρόβλεπτες διακυμάνσεις των τιμών στην αγορά άμεσης απόδοσης, επιδιώκει να προβλέψει όσο το δυνατόν τη ζήτηση των καταναλωτών του. Κατά συνέπεια, προχωρά στην αγορά ενέργειας μέσω προθεσμιακών αγορών για να καλύψει αυτήν την πρόβλεψη. Έτσι, για έναν πωλητή - μεταπωλητή ενέργειας, υπάρχει ένα ισχυρό κίνητρο να κατανοήσει τα καταναλωτικά πρότυπα των πελατών του. Συχνά, ενθαρρύνει τους καταναλωτές του να εγκαθιστούν "έξυπνους" μετρητές που καταγράφουν την κατανάλωση ενέργειας σε κάθε χρονική περίοδο αποκαλύπτοντας έτσι τις καταναλωτικές τους συνήθειες.

Εάν η διαδικασία της πρόβλεψης επιτευχθεί, αυτό τον οδηγεί στο να προσφέρει πιο ελκυστικά τιμολόγια εφόσον οι καταναλωτές μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής. Η πρόβλεψη της αξίας της ζήτησης ενέργειας ανά ώρα μπορεί να επιτευχθεί με μέση ακρίβεια περίπου 1.5 - 2%. Ένα τέτοιο ποσοστό ακρίβειας πρόβλεψης μπορεί να ισχύει εφόσον ληφθούν υπόψη όλοι οι μετεωρολογικοί, κλιματολογικοί, οικονομικοί, πολιτιστικοί και ειδικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην προσπάθεια αυτή, εφαρμόζονται οι πιο προηγμένες διαθέσιμες τεχνικές στατιστικής πρόβλεψης. Καταλήγοντας στην στατιστική επεξεργασία των συνηθειών κατανάλωσης, η επίτευξη αυτής της ακρίβειας είναι εφικτή μόνο με τη συμμετοχή μεγάλων ομάδων καταναλωτών. Σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης και ανάλυσης των δεδομένων μειώνουν τη σχετική επίδραση των τυχαίων διακυμάνσεων.

Ένας πωλητής - μεταπωλητής που δεν κατέχει το μονοπώλιο στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη περιοχή, δεν μπορεί να εκτιμήσει τη ζήτηση των καταναλωτών του με την ίδια ακρίβεια, όπως θα μπορούσε μια μονοπωλιακή εταιρεία κοινής ωφέλειας. Το ζήτημα αυτό επιδεινώνεται όταν οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν προμηθευτές λιανικής για να εξασφαλίσουν καλύτερες τιμές. Για τον πωλητή - μεταπωλητή, μια ασταθής πελατειακή βάση καθιστά πολύ πιο δύσκολη τη συλλογή αξιόπιστων στατιστικών στοιχείων που απαιτούνται για τη βελτίωση της πρόβλεψής του σχετικά με τη ζήτηση.

2.4.3 Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Παραγωγών

Μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και όλοι οι συμμετέχοντες σε μία αγορά, επιδιώκει να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, η προσέγγιση του προβλήματος του ρόλου ενός παραγωγού θα πρέπει να εξεταστεί στο πλαίσιο μιας αγοράς με "τέλειο ανταγωνισμό". Η αρχή για "τέλειο ανταγωνισμό" προβλέπει δίκαιη συμμετοχή χωρίς μεροληψία, περαιτέρω γνώση των συνθηκών αγοράς, ή πρόσβαση σε πληροφορίες ειδικού τύπου για όλους.

Στους παράγοντες που πρέπει να συμπεριληφθούν στην προσπάθεια μεγιστοποίησης των κερδών ενός παραγωγού, είναι:

- Τα όρια παραγωγής των μονάδων του
- Οι καμπύλες κόστους λειτουργίας των μονάδων του
- Τα κόστη λειτουργίας ανενεργών μονάδων παραγωγής
- Ο προγραμματισμός των μονάδων παραγωγής και η προβλεπόμενη συμμετοχή τους στην αγορά
- Τα κόστη εκκίνησης των μονάδων παραγωγής του
- Λειτουργικοί Περιορισμοί των μονάδων παραγωγής
- Περιβαλλοντικοί Περιορισμοί
- Εναλλακτικές Οικονομικές Επιλογές
- Σφάλματα πρόβλεψης ζήτησης ενέργειας
- Απόφαση για παραγωγή ως προς την εκτιμώμενη πώληση

Επομένως, το πρόβλημα από πλευράς των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας είναι σαφώς συνθετότερο και μπορεί να παράγει περισσότερες επισφάλειες ή/και απώλειες κερδών.

2.4.4 Η αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας από πλευράς Διαχειριστή Συστήματος

Ο Διαχειριστής του Συστήματος είναι μία δομική οντότητα η οποία τοποθετείται στην κορυφή της πυραμίδας των συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος του είναι διττός και προβλέπει:

- Διασφάλιση του βέλτιστου οριακού κόστους για την κάλυψη των αναγκών ενέργειας του δικτύου
- Καθορισμός και διαχείριση των απαιτούμενων μονάδων εφεδρείας για την ευσταθή λειτουργία του δικτύου
- Λειτουργική και Αξιόπιστη Διαχείριση των υποσυστημάτων δικτύου με βάση τους κανονισμούς συντήρησης και αποκατάστασης σφαλμάτων - βλαβών στο δίκτυο

Επομένως, το κίνητρο των δραστηριοτήτων του Διαχειριστή Συστήματος, εφόσον δεν πρόκειται για μία ανεξάρτητη εταιρεία στην αγορά, αφορά κυρίως στην διασφάλιση της ορθής και ευσταθούς λειτουργίας ολόκληρου του δικτύου.

Η τρέχουσα νομοθεσία καθώς και οι Ευρωπαϊκές οδηγίες δεν προβλέπουν αντικατάσταση τους στο εγγύς μέλλον από ανεξάρτητο εταιρικό φορέα. Άρα ένας διαχειριστής συστήματος μπορεί να παρουσιάζεται ως μία εταιρική οντότητα (π.χ. ΑΔΜΗΕ ΑΕ) στις δομικές οντότητες της δικτυακής υποδομής, αλλά τα κίνητρα δραστηριοποίησης του στο σχήμα δεν είναι αμιγώς οικονομικά.

Οι αποφάσεις που λαμβάνει δεν σταθμίζουν την έννοια του κέρδους αλλά της ασφαλούς λειτουργίας της συνολικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, για την οποία είναι υπεύθυνος.

Πολλές φορές οι αποφάσεις του μπορεί να συμβάλλουν σε σημαντική διακύμανση (αύξηση) του οριακού κόστους της ενέργειας, από πλευράς των υπολοίπων συμμετεχόντων στην αγορά, τα κίνητρα του όμως είναι αυστηρά προστατευτικά.

2.5 Οι Ανανεώσιμες Πηγές στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μέχρι τώρα, η προσοχή έχει εστιαστεί στη συμμετοχή στην αγορά μονάδων που μετατρέπουν τη χημική ή θερμική ή μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων ή κινητικής ενέργειας. Αυτά τα συστήματα παραγωγής ενέργειας περιλαμβάνουν τον άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή το νερό. Το οριακό κόστος αυτών των εγκαταστάσεων είναι σημαντικό, εξαιτίας του κόστους εξόρυξης των καυσίμων αυτών. Από την άλλη, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορεί να εμφανίζονται με χαμηλότερο οριακό κόστος λόγω της χρήσης των υδάτινων πόρων, αλλά έχουν αυξημένα κατασκευαστικά κόστη για την υλοποίησή τους.

Αντίθετα, οι εγκαταστάσεις που δεν χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα ή υδροστροβίλους έχουν πολύ χαμηλότερο (όπως οι πυρηνικές) ή σχεδόν μηδενικό (όπως οι αιολικές και οι ηλιακές) οριακό κόστος. Παρ' όλα αυτά, αυτές οι μονάδες συνήθως απαιτούν πολύ υψηλότερο κόστος επένδυσης ανά MW εγκατεστημένης ισχύος ή παρουσιάζουν στοχαστική απόδοση. Συγκεκριμένα οι Α.Π.Ε. είναι αυτές που εμφανίζουν το φαινόμενο της στοχαστικής προβλεψιμότητας όσον αφορά την παραγωγική τους ικανότητα. Ως εκ τούτου, η πρόκληση για τους ιδιοκτήτες τους είναι να εξασφαλίσουν επαρκή έσοδα ώστε να διασφαλίσουν τις επενδύσεις τους.

Όταν οι διάφορες μορφές παραγωγής ενέργειας ανταγωνίζονται μεταξύ τους, οι ιδιοκτήτες αιολικών και ηλιακών πάρκων απολαμβάνουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας τους είναι δωρεάν, ενώ οι υπόλοιποι παραγωγοί πρέπει να πληρώσουν για αυτές. Ωστόσο, αντιμετωπίζουν δύο κύρια προβλήματα.

Οι πηγές αυτές είναι διαλείπουσες διότι σε πολλές περιοχές, ο άνεμος και ο ήλιος μεταβάλλουν την δραστηριότητά τους. Αυτό σημαίνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν επακριβώς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το καλύτερο που μπορούν να κάνουν είναι να εκτιμήσουν πότε και πόση ενέργεια αναμένεται να παραχθεί και να διαθέσουν αυτήν την ενέργεια στις προθεσμιακές αγορές.

Κατά συνέπεια αυτές οι πηγές ενέργειας είναι ασταθείς, γεγονός που καθιστά αδύνατη την ακριβή πρόβλεψη του χρόνου έναρξης ή διακοπής τους [4]. Ως αποτέλεσμα, οι αιολικές και οι ηλιακές εγκαταστάσεις συχνά αντιμετωπίζουν ανισορροπία μεταξύ της ενέργειας που έχουν πωλήσει και της πραγματικής τους παραγωγής. Δεδομένου ότι το κόστος για την κάλυψη αυτών των ανισορροπιών στην άμεση αγορά μπορεί να είναι σημαντικό, οι φορείς

εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εφαρμόζουν διάφορες τεχνικές για την αντιμετώπισή τους:

- Επιδιώκουν να ενισχύσουν την ακρίβεια των προβλέψεων παραγωγής τους μέσω αριθμητικών μοντέλων καιρού (για την αιολική παραγωγή) και δορυφορικών εικόνων νεφών (για την ηλιακή παραγωγή).
- Έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν ενεργά στις βραχυπρόθεσμες αγορές μελλοντικής προμήθειας προκειμένου να αντιμετωπίσουν αναμενόμενες ανισοροπίες, καθώς οι βελτιωμένες προβλέψεις γίνονται διαθέσιμες.
- Μπορούν να συνεργαστούν με μια ευέλικτη συμβατική γεννήτρια ή μια εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας. Αυτός ο συνεργάτης έχει τη δυνατότητα να αυξάνει, να μειώνει ή να αναστρέφει την παραγωγή ενέργειας τους, προκειμένου να αντισταθμίσει τυχόν ελλείμματα ή πλεονάσματα στην παραγωγή τους. Έτσι μπορούν να συνάψουν "σταθερές" συμβάσεις για την προμήθεια ενέργειας με τις αγορές χονδρικής.

Αν και η ενέργεια που παράγεται από αυτήν την "ευέλικτη συνεργασία" μπορεί να μην είναι πάντα πιο οικονομική από τις τιμές της άμεσης αγοράς, μια τέτοια ρύθμιση μειώνει τον κίνδυνο ανεπάρκειας στην προσφορά ενέργειας για να μπορούν να εισέλθουν στην προθεσμιακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι κάθετα ολοκληρωμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν αξιοποιήσει τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς εδώ και πολλές δεκαετίες, προκειμένου να διευκολύνουν την ενοποίηση των πυρηνικών σταθμών και να μειώσουν το λειτουργικό κόστος του συστήματος, εξομαλύνοντας το προφίλ φορτίου. Αυτά τα εργοστάσια αντλούν ενέργεια όποτε το σύστημα απαιτεί με αποθήκευση νερού σε ταμιευτήρες κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης από το δίκτυο που αποδίδει περίσσειμα ενέργειας. Η ενταμιευμένη ενέργεια παράγεται απελευθερώνοντας το νερό μέσω στροβίλων κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης. Η ανακυκλωτική κατανάλωση και παραγωγή με αυτόν τον τρόπο μειώνει τη διαφορά μεταξύ των αιχμών και των κατώτατων σημείων στην καμπύλη ζήτησης. Αυτό επιτρέπει στους πυρηνικούς σταθμούς να λειτουργούν με σταθερή ισχύ εξόδου, μειώνοντας την ανάγκη ενεργοποίησης και απενεργοποίησης συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή τη λειτουργία τους με χαμηλότερη από την βέλτιστη απόδοση, και έτσι συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας του συνολικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

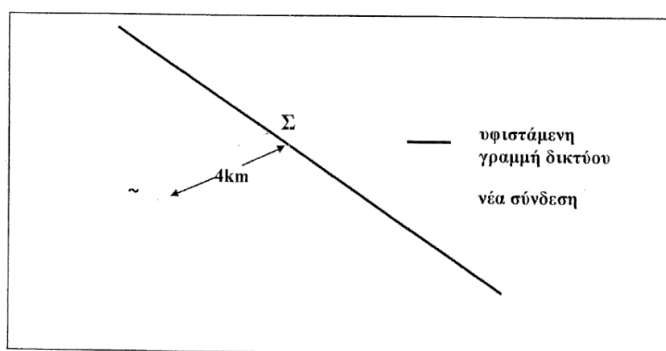
Η αποτελεσματική διαχείριση της διακοπής λειτουργίας και της στοχαστικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε να επιτευχθεί πιο εύκολα εάν υπήρχε μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει καταβληθεί σημαντική προσπάθεια στην ανάπτυξη ηλεκτροχημικών συσσωρευτών (μπαταριών) ως συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των συσσωρευτών προσφέρει υποσχέσεις για χαμηλότερο κόστος, μεγαλύτερη αποδοτικότητα και καλύτερη περιβαλλοντική συμβατότητα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις αποθήκευσης με ταμιευτήρες νερού.

Έχει υποστηριχθεί ότι οι συσσωρευτές ή άλλες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας εκτελούν αποκλειστικά προσωρινό arbitrage, δηλαδή αγοράζουν και αποθηκεύουν ενέργεια όταν οι τιμές στην αγορά είναι χαμηλές και στη συνέχεια απελευθερώνουν και πωλούν αυτή την ενέργεια όταν οι τιμές είναι υψηλές. Το προσωρινό arbitrage σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον μπορεί να αποδειχθεί κερδοφόρο, εφόσον τα έσοδα από την πώληση ενέργειας κατά τις περιόδους υψηλών τιμών υπερβαίνουν το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται κατά τις περιόδους αγοράς ισχύος με χαμηλές τιμές. Αυτός ο υπολογισμός θα πρέπει να

λαμβάνει υπόψη ότι, λόγω των απωλειών, ένα μέρος της προσφερόμενης ενέργειας είναι αποθηκεύσιμη.

2.6 Τα Δίκτυα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και η επίδραση τους στη διαμόρφωση του οριακού κόστους

Τα Δίκτυα Μεταφοράς αποτελούν την βασική υποδομή για τη διασύνδεση και μεταφορά της ενέργειας από και προς όλους τους συμμετέχοντες στο σχήμα της αγοράς. Κάθε παραγωγική μονάδα που παράγει ενέργεια μεταφέρει αυτήν μέσω σύνδεσης της με το δίκτυο μεταφοράς. Το κόστος σύνδεσης περιλαμβάνει τα έξοδα που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις μεταφοράς, τα οποία αφορούν τη σύνδεση κάθε χρήστη ενός δικτύου. Η σύνδεση για παραγωγούς ή καταναλωτές σχετίζεται με το πλησιέστερο διαθέσιμο σημείο προς τη γραμμή μεταφοράς. Αυτό επιτυγχάνει το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος για τη διασύνδεση. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται η διασύνδεση ενός παραγωγού ισχύος σε μία γραμμή υψηλής τάσεως, σε απόσταση 4 χιλιομέτρων [1].

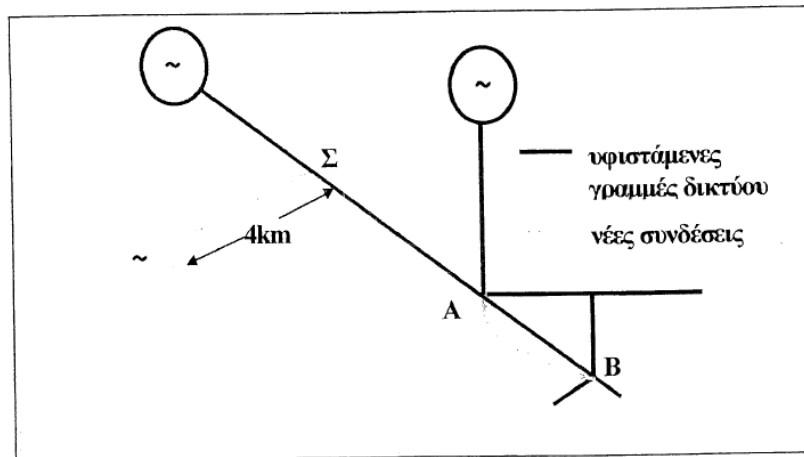


Σχήμα 20: Σύνδεση παραγωγού στο δίκτυο με χαμηλό (ρηχό) κόστος [1]

Το κόστος σύνδεσης μπορεί να αναχθεί σε δύο κατηγορίες:

- Ρηχό κόστος
- Βαθύ κόστος

Το κόστος της διασύνδεσης περιλαμβάνει το μήκος της γραμμής και τον τύπο των υλικών που απαιτούνται για την υλοποίηση της διασύνδεσης. Στο υλικό συμπεριλαμβάνονται αποξεύκτες, διακόπτες και μετρητικά όργανα. Επομένως, το συνολικό κόστος περιλαμβάνει τόσο την εργασία όσο και τον απαραίτητο εξοπλισμό που απαιτείται για τη διασύνδεση. Συχνά, η διασύνδεση που δημιουργείται επιφέρει την ανάγκη για ενίσχυση σε άλλα σημεία του δικτύου μεταφοράς για την αποφυγή φαινομένων υπερφόρτωσης. Εάν ληφθούν υπόψη τα κόστη που προκύπτουν από αυτές τις ενισχύσεις, προκύπτει ένα νέο κόστος, το οποίο ονομάζεται βαθύ κόστος. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διασύνδεση του παραγωγού στο σημείο Σ, καθώς και οι ενισχύσεις με διασύνδεση στους κόμβους Α και Β.



Σχήμα 21: Διασύνδεση του παραγωγού με το δίκτυο και ενισχύσεις στα σημεία A και B – Βαθύ κόστος [1]

Προφανώς η αποτίμηση του κόστους διασύνδεσης δεν είναι δύσκολη οικονομική διαδικασία. Ωστόσο, η δυσκολία που προκύπτει αφορά στην κατανομή αυτών των εξόδων μεταξύ χρηστών που λαμβάνουν κοινές ενισχύσεις των γραμμών τους, λόγω της σύνδεσής τους στο δίκτυο. Συνήθως, οι παραγωγοί αρνούνται να αναλάβουν τα επιπλέον κόστη ενίσχυσης των γραμμών για τους εξής λόγους:

- Η νέα γραμμή ενίσχυσης AB, την οποία το δίκτυο μεταφοράς κρίνει απαραίτητη, συνιστά μια επιπλέον διαδρομή μεταφοράς ισχύος που ενδέχεται να εξυπηρετήσει και άλλους χρήστες του δικτύου πλην των υπαρχόντων. Ως εκ τούτου, ο νέος παραγωγός που έχει διασυνδεθεί στο δίκτυο δεν θεωρεί τα έξοδα αυτά ως αποκλειστικά και αναγκαία για αυτόν και προφανώς δυστροπεί ως προς την χρέωση τους.
- Ο νέος παραγωγός που έχει συνδεθεί με την επιπλέον χρέωση για τη γραμμή ενίσχυσης AB, μπορεί να θεωρήσει ότι πληρώνει διπλά τόσο μέσω του κόστους διασύνδεσης όσο και μέσω του κόστους χρήσης.

Συνεπώς, η χρέωση με βαθύ κόστος δεν είναι γενικότερα αποδεκτή και, ως εκ τούτου, δεν προτείνεται. Επίσης, η χρέωση ρηχού κόστους παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα στην εφαρμογή της:

- Η σύνδεση με τις γραμμές μεταφοράς ήταν αποκλειστική αρμοδιότητα της εταιρείας του δικτύου μεταφοράς
- Για την εταιρεία παραγωγής που διασυνδέεται δεν είναι λογικό να υπάρχει εναλλακτική γραμμή μεταφοράς από άλλη εταιρεία
- Η επιβάρυνση για την ανάπτυξη του βαθέως κόστους μπορεί να ανέρχεται στο 100% της τιμής που απαιτούνταν για τη σύνδεση του παραγωγού στο δίκτυο με ρηχό κόστος ή και παραπάνω
- Η εταιρεία του δικτύου μεταφοράς διατηρεί τη δυνατότητα να προσφέρει τη σύνδεση ενίσχυσης και για την εξυπηρέτηση άλλων μελλοντικών παραγωγών στο δίκτυό της

Αυτές οι απαιτήσεις δημιούργησαν την ανάγκη για καθετοποιημένη σύνδεση των παραγωγών στο δίκτυο (Παραγωγή – Μεταφορά – Διανομή υπό την αιγίδα του Διαχειριστή). Ωστόσο, το ζήτημα της χρέωσης βαθέως κόστους δεν επιλύθηκε ούτε με αυτή

την προσέγγιση. Η μονοπωλιακή φύση των αναπτυσσόμενων αυτών εταιρειών υπό κρατικό έλεγχο επιλύει το ζήτημα της χρέωσης, παρέχοντας ταυτόχρονα αδιαμφισβήτητη νομική υποστήριξη από το κράτος, χωρίς να αφήνει περιθώρια αμφισβήτησης για τον νέο παραγωγό που συνδέεται με αυτές.

Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας όμως αναδεικνύει τα υφιστάμενα προβλήματα, καθώς και νέα ζητήματα που προκύπτουν από την ανταγωνιστική φύση των διασυνδεδεμένων παραγωγών στο τρέχον δίκτυο. Η Οδηγία 96/92 [2] για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας απαιτεί όχι μόνο τον λογιστικό διαχωρισμό της Μεταφοράς από τις άλλες δραστηριότητες, αλλά και την αποδυνάμωση του μονοπωλιακού τύπου λειτουργίας.

Ο νέος παραγωγός έχει πλέον τη δυνατότητα, εφόσον το επιθυμεί, να κατασκευάσει και τις γραμμές διασύνδεσης, εφόσον διαθέτει την απαραίτητη τεχνογνωσία. Σε αυτό το πλαίσιο, θα απαιτηθούν νομικές παρεμβάσεις για την εξασφάλιση ίσης μεταχείρισης των τοπικών παρόχων κατά τη διαδικασία διασύνδεσης.

Τα ζητήματα που σχετίζονται με τη χρέωση ρηχού κόστους μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω παρεμβάσεων στα εξής σημεία:

- Πραγματοποίηση αναλυτικής κοστολόγησης και υποβολή προσφοράς για τις απαραίτητες εργασίες διασύνδεσης ενός νέου παραγωγού
- Δυνατότητα καταβολής του ρηχού κόστους είτε εφάπαξ είτε σε δόσεις
- Αμφισβήτηση του κόστους διασύνδεσης. Εάν ο νέος παραγωγός θεωρεί ότι το κόστος διασύνδεσης είναι υπερβολικό, έχει τη δυνατότητα να υποβάλει αίτημα στην Ρυθμιστική Αρχή για να κατασκευάσει και να υλοποιήσει ο ίδιος τη διασύνδεση

Προκειμένου να αποφευχθούν οι τριβές και οι νομικές διενέξεις, η εταιρεία του δικτύου μεταφοράς υποχρεούται να δημοσιεύει ετησίως έναν πίνακα τιμών χιλιομετρικού κόστους, ο οποίος έχει εγκριθεί από τη Ρυθμιστική Αρχή.

Εκτός από το κόστος σύνδεσης, οι χρήστες ενός δικτύου μεταφοράς οφείλουν να μοιράζονται τα έξοδα χρήσης και συντήρησης του δικτύου μεταφοράς. Οι θεμελιώδεις αρχές για την έκδοση των τιμολογίων χρέωσης χρήσης του δικτύου μεταφοράς ενέργειας θα πρέπει να τηρούν τα εξής [1]:

- Επιπλέον του κόστους χρήσης, θα πρέπει να υπολογίζεται και ένα πρόσθετο κόστος που σχετίζεται με τη συντήρηση, επισκευή, ανανέωση και λειτουργία του δικτύου μεταφοράς
- Να αποφεύγονται οι διπλές χρεώσεις από παράλληλες και ανεξάρτητες διαδικασίες
- Οι χρεώσεις θα πρέπει να είναι διαφανείς, κατανοητές και αμερόληπτες για όλους τους χρήστες
- Από τις χρεώσεις θα πρέπει να αποστέλλονται μηνύματα προς τους χρήστες για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας από το δίκτυο μεταφοράς

Για να επιτευχθεί συγκεκριμένα το τελευταίο χαρακτηριστικό, είναι απαραίτητο να παρασχεθούν κίνητρα για την παραγωγή ενέργειας κοντά στις περιοχές με υψηλές καταναλώσεις. Αυτό θα απελευθερώσει τις γραμμές μεταφοράς από την ανάγκη μετάδοσης ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, μειώνοντας επίσης τα κόστη για ενδεχόμενες ενισχύσεις των γραμμών μεταφοράς.

Η διαφοροποίηση των τιμών ανά περιοχές στο δίκτυο αποτελεί επίσης ένα κρίσιμο ζήτημα, το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί μέσω διαφόρων μεθόδων. Στην έκδοση του Electric Power Research Institute - EPRI παρουσιάζονται αναλυτικά οι 12 κύριες μέθοδοι. Το κόστος του δικτύου μεταφοράς, σύμφωνα με αυτές τις μεθόδους, θα πρέπει να βασίζεται στα ποσά της

μεταφερόμενης ισχύος (MW) και στην χιλιομετρική απόσταση. Για τον λόγο αυτό, εισάγεται η μεταβλητή $MW \times Km$. Η εκτίμηση της χιλιομετρικής απόστασης αφορά στο σύνολο της γραμμής μεταφοράς, περιλαμβάνοντας και τους υποσταθμούς που συμμετέχουν στη διανομή, με την κατάλληλη διαχείριση των αντίστοιχων μηκών γραμμής που εκτείνονται και ελέγχονται από αυτούς.

Οι μέθοδοι χρέωσης, οι οποίες βασίζονται στους προτεινόμενους αλγόριθμους, απαιτούν διασυνεχή υπολογιστικά συστήματα παρακολούθησης της ισχύος μεταφοράς των γραμμών για την εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών. Οι μέθοδοι καταλήγουν σε διαφορετικά κόστη ανά κόμβο και χιλιόμετρο της γραμμής μεταφοράς, ανάλογα με τις παραδοχές και τις εκτιμήσεις που χρησιμοποιούν. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι δεν έχουν γίνει γενικότερα αποδεκτές από τα κράτη - μέλη της ΕΕ για τους εξής λόγους:

- Σημαντική υπολογιστική ισχύς που απαιτείται για την ανάλυση των ροών φορτίου σε κάθε κόμβο ενός δικτύου μεταφοράς
- Πολυπλοκότητα των προτεινόμενων αλγορίθμων και μεθόδων που οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα κόστους, γεγονός που καθιστά αδύνατη την καθολική υιοθέτησή τους σε ένα δίκτυο

Μία μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά και φαίνεται να είναι ευρέως αποδεκτή από τα κράτη - μέλη, είναι η μέθοδος του "ταχυδρομικού γραμματοσήμου". Αυτή η μέθοδος επιβάλλει την ίδια χρέωση για οποιαδήποτε μεταφορά ισχύος εντός μιας περιοχής, ανεξαρτήτως της απόστασης και των μεταβολών στα ποσά ισχύος ζήτησης και κατανάλωσης. Όλοι οι χρήστες σε μια συγκεκριμένη περιοχή επιβαρύνονται με την ίδια χρέωση. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν έχει υποβληθεί σε λεπτομερή ανάλυση. Συνήθως, η εκτίμηση της χρέωσης γίνεται μέσω του συνολικού υπολογισμού της ισχύος που διακινήθηκε σε ετήσια βάση, διαιρεμένου με το συνολικό μήκος των γραμμών μεταφοράς και διανομής, βγάζοντας ένα μέσο κόστος ισχύος ανά μήκος του δικτύου μεταφοράς.

Ένα βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ισοπεδώνει τα μηνύματα στάθμισης και κατανάλωσης για τους χρήστες, αν και είναι απλή στη χρήση. Η χρέωση αυτού του τύπου προέρχεται συνήθως από τα μονοπώλια που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια και παρακολουθείται από την ανεξάρτητη Ρυθμιστική Αρχή.

2.7 Το μαθηματικό Πρόβλημα Διαχείρισης της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας είναι άμεσα επηρεαζόμενες από την στρατηγική συμπεριφορά των συμμετεχόντων σε ότι αφορά στις τιμές αγοραπωλησίας ενέργειας και του ρόλου κάθε συμμετέχοντα. Οι παραγωγοί ενέργειας προσδοκούν να εκμεταλλευτούν την αγορά από την πώληση της ενέργειας σε αυτήν, αποκομίζοντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κέρδος. Προς την επίτευξη μέγιστου κέρδους οι παραγωγοί καθιστούν δεσπόζουσα τη θέση τους, όταν κρατούν τις μονάδες τους εκτός της αγοράς, οπότε οι τιμές λόγω της μειωμένης προσφοράς αναμένεται να αυξηθούν. Ο απώτερος σκοπός μίας τέτοιας ενέργειας είναι για να προκαλέσει έλλειψη ενέργειας και κατά συνέπεια αύξηση των τιμών πάνω από τα επίπεδα που επικρατούν σε μια ανταγωνιστική και δίκαιη αγορά. Η αναγνώριση του φαινομένου της κατάχρησης της "δεσπόζουσας θέσης" είναι εξαιρετικά δύσκολη. Αυτό οφείλεται εγγενώς σε αδυναμίες που οι πάροχοι ενέργειας μπορούν να επικαλεστούν σχετιζόμενες με τα θέματα παραγωγής (π.χ. συντηρήσεις, βλάβες μονάδων παραγωγής, μη αποδοτικές ενεργοποιήσεις μονάδων παραγωγής, κ.λπ.), καθώς επίσης είναι περίπλοκο να διαχωριστεί η αύξηση των τιμών που προκύπτει από στρατηγικές ενέργειες αυτού του τύπου.

Για να αποτραπεί η χειραγώγηση της αγοράς, οι ρυθμιστικές αρχές ενέργειας θα πρέπει να επιβάλλουν ανώτατα όρια τιμών προσφοράς, τα οποία περιορίζουν την τιμή στην οποία οι παραγωγοί μπορούν να προσφέρουν τις μονάδες τους στην αγορά.

Αυτή η τεχνική δυστυχώς δεν εφαρμόζεται στη σύγχρονη "ελεύθερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας" και οι τιμές αναμένεται να ρυθμιστούν από την ίδια την αγορά, τα προσφερόμενα ποσά ενέργειας και την διαπραγμάτευση των αναγκών ενέργειας στα αντίστοιχα χρηματιστήρια.

Σε μία πλήρως ρυθμιζόμενη αγορά θα έπρεπε να υπάρχουν ανώτατα όρια τιμής αγοράς, τα οποία να περιορίζουν την τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας με βάση τις τεχνολογίες παραγωγής.

Η παρούσα μαθηματική ανάλυση του προβλήματος επικεντρώνεται στα ανώτατα όρια στις τιμές προσφοράς, όπως διαμορφώνονται από τις προσφορές παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας, χωρίς την επιβολή ανώτατων ορίων από ρυθμιστικές αρχές. Με βάση αυτήν την αρχή λειτουργίας της ελεύθερης οικονομίας, αναμένεται ότι οι τιμές κόστους της ενέργειας θα "αυτορρυθμιστούν από την ανταγωνιστική συμμετοχή πολλών παραγωγών ενέργειας με διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής", οι οποίοι είναι ικανοί να προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα ενέργειας για την κάλυψη των στιγμιαίων αναγκών ενός ηλεκτρικού δικτύου, σε διαφορετικές τιμές.

Το κίνητρο για τη μετάβαση από την κεντρική λειτουργία του καθετοποιημένου συστήματος, σε ελεύθερες αγορές ενέργειας, προέρχεται από διάφορα πλεονεκτήματα που μπορούν να επιτευχθούν μέσω αγορών που λειτουργούν με δίκαιο τρόπο, σε σύγκριση με την κεντρική μονοπωλιακή λειτουργία. Αυτά τα πλεονεκτήματα σχετίζονται με την πληροφορία, την επεκτασιμότητα της λειτουργίας και τα αποδοτικά μακροπρόθεσμα σήματα προς τους επενδυτές.

Το μαθηματικό πρόβλημα της ελεύθερης αγοράς ενέργειας διατυπώνεται ως ένα πρόβλημα συμμετοχής κατ'επιλογήν παραγωγών ενέργειας που στοχεύουν να ικανοποιήσουν τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις των καταναλωτών ενός ηλεκτρικού δικτύου, διαμορφώνοντας ελεύθερα τις τιμές τους καθώς και επίσης εισάγοντας αρχικές τιμές κόστους, οι οποίες οφείλονται στις τεχνολογίες και στις χρονικές απαιτήσεις ενεργοποίησης των μονάδων τους. Από μαθηματικής πλευράς αποτελεί ένα μη κυρτό πρόβλημα βελτιστοποίησης με χρήση περιορισμών, οι οποίοι βασίζονται στη συμμετοχή ή όχι ενός παραγωγού, το ελάχιστο και μέγιστο ποσό ενέργειας που ο παραγωγός μπορεί να προσφέρει για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για το επιλυόμενο χρονικό διάστημα καθώς και τη δέσμευση για κάλυψη όλων των ενεργειακών απαιτήσεων του δικτύου [20].

2.7.1 Η έννοια της πληροφορίας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Η κύρια λειτουργία του συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί από τον διαχειριστή του συστήματος να έχει πρόσβαση σε λεπτομερείς οικονομικές και τεχνικές πληροφορίες, σχετικά με τους παραγωγούς και τους καταναλωτές του δικτύου του. Αυτό καθίσταται πρακτικά αδύνατο κυρίως για τους καταναλωτές, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου αριθμού τους και των μη προβλέψιμων συμπεριφορών τους στο χρόνο. Αντίθετα, οι απαιτήσεις σε πληροφορίες από την πλευρά της παραγωγής είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες, καθώς ακόμη και στα μεγαλύτερα συστήματα παγκοσμίως, οι παραγωγοί δεν υπερβαίνουν τις μερικές χιλιάδες (ελεγχόμενος αριθμός), δίνοντας επίσης την πληροφορία για τις προβλεπόμενες τιμές ενέργειας που μπορούν να παράσχουν και το κόστος αυτής. Ένα από τα πλεονεκτήματα στη διαχείριση της πληροφορίας της αγοράς, είναι ότι οι πληροφορίες είναι αποκεντρωμένες. Οι παραγωγοί χρειάζονται πρόσβαση μόνο στην τιμή της αγοράς και

στις ιδιωτικές τους τεχνικές και οικονομικές πληροφορίες, για να λειτουργήσουν τις μονάδες παραγωγής τους στο βέλτιστο επίπεδο. Αντίστοιχα, οι καταναλωτές χρειάζονται πρόσβαση μόνο στην τιμή της αγοράς και στην προσωπική τους εκτίμηση για τις ανάγκες τους, προκειμένου να αποφασίσουν πόση ενέργεια και πότε θα την καταναλώσουν.

2.7.2 Υπολογιστικές Απαιτήσεις στα συστήματα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Η λειτουργία ενός μεσαίας κλίμακας συστήματος απαιτεί τον συντονισμό δεκάδων έως και εκατοντάδων παραγωγών με εκατοντάδες χιλιάδες έως και εκατομμύρια καταναλωτές σε εκτεινόμενες χρονικές περιόδους. Το σύστημα οφείλει να κατανείμει διάφορους πόρους (ενέργεια, εφεδρεία, μεταφορά), λαμβάνοντας υπόψη του περίπλοκους περιορισμούς. Η κεντρική επίλυση αυτού του προβλήματος κατανομής πόρων, είναι τεχνικά απαιτητική και πρέπει να ολοκληρώνεται σε αποδεκτούς χρόνους για τη λειτουργία του συστήματος (εντός λίγων λεπτών). Μια αγορά προσφέρει μια αποκεντρωμένη λύση σε αυτό το ζήτημα. Αν και η τρέχουσα λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων απαιτεί αυτή η διαδικασία να γίνεται κεντρικά, θεωρητικά είναι εφικτό να εκτελέσει τη διαδικασία βελτιστοποίησης αποκεντρωμένα, με την ακαδημαϊκή έρευνα να προχωρά προς αυτή την κατεύθυνση. Η πρόοδος σε αυτή την κατεύθυνση μπορεί να διευκολύνει μικρότερες και πολυάριθμες παραγωγικές μονάδες (όπως οι οικιακές ηλιακές εγκαταστάσεις) και τους καταναλωτές (όπως τα ηλεκτρικά οχήματα), να συμμετάσχουν ενεργά στη λειτουργία του συνολικού συστήματος.

Ο Adam Smith αναλύει αυτή την ισοδυναμία με τη χρήση του όρου “αόρατο χέρι της αγοράς”. Μια αλγοριθμική ερμηνεία του “βέλτιστου χεριού” υποδηλώνει ότι η αγορά διασπά το ζήτημα της κατανομής πόρων σε υποπροβλήματα που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση του κέρδους, με τις τιμές της αγοράς να λειτουργούν ως σήματα που συντονίζουν τους συμμετέχοντες της αγοράς, οι οποίοι επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν το ιδιωτικό τους κέρδος. Από την άλλη πλευρά, η έννοια μεγιστοποίησης του κέρδους αφορά και στους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι από την πλευρά τους προσδοκούν να επιτύχουν όσο το δυνατόν χαμηλότερες τιμές για την αγορά της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Προφανώς η έννοια του κέρδους είναι αντικρουόμενη ως προς την τοποθέτηση της για τους παραγωγούς και τους καταναλωτές.

2.7.3 Μακροπρόθεσμες Ενδείξεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ρυθμιζόμενα μονοπώλια παρέχουν περιορισμένα κίνητρα για καινοτομία, καθώς το κέρδος από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας ελέγχεται από την κυβέρνηση και προσαρμόζεται ώστε να διασφαλίζεται μια ικανοποιητική απόδοση στο επενδεδυμένο κεφάλαιο. Επιπλέον, οι μονοπωλιακές αγορές έχουν πάντοτε διασφαλισμένο κέρδος, δεδομένου ότι δεν υπόκεινται σε ενεργό ανταγωνισμό. Οι τεχνολογικές καινοτομίες σε ένα ρυθμιζόμενο περιβάλλον δεν επηρεάζουν σαφώς το μακροπρόθεσμο κέρδος, με αποτέλεσμα το κίνητρο για καινοτομία να μειώνεται σημαντικά. Αντίθετα, ορισμένοι ρυθμιζόμενοι τομείς της αγοράς ενδέχεται να έχουν κίνητρο να επενδύσουν σε φαινομενικά περιττό ή υπερβολικά ακριβό εξοπλισμό, προκειμένου να επιδείξουν αύξηση στις κεφαλαιουχικές επενδύσεις τους και, κατά συνέπεια, στα ρυθμιζόμενα κέρδη που παρουσιάζουν προς φορολόγηση.

Αντίθετα, μια ελεύθερη αγορά ενέργειας προάγει καινοτομίες που προσφέρουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στους παραγωγούς. Με τη μείωση των εξόδων τους, οι

παραγωγοί μπορούν να αυξήσουν τα κέρδη τους και να επωφεληθούν από την αξία που οι ίδιοι δημιουργούν στο προϊόν τους. Ομοίως, όταν οι πάροχοι ρυθμίζονται, τα κίνητρα για τη δημιουργία προστιθέμενης αξίας στο σύστημα είναι περιορισμένα. Η ενεργός συμμετοχή της ζήτησης έχει τη δυνατότητα να προσφέρει προστιθέμενη αξία, ιδιαίτερα σε ένα πλαίσιο με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η προστιθέμενη αξία μπορεί να ωφελήσει άμεσα τους καταναλωτές σε ένα περιβάλλον δίκαιης και ανταγωνιστικής αγοράς.

2.7.4 Παράδειγμα του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Για να τοποθετηθεί ένα πρόβλημα επίλυσης στην αγορά ενέργειας, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μικρής κλίμακας παραγωγών που καλούνται να καλύψουν συνολικά φορτία καταναλωτών. Στο παράδειγμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα ανάλογο πρόβλημα βελτιστοποίησης που αφορά σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, με την συμμετοχή 3 παραγωγών ενέργειας, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά 3 παραγωγών για την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης

Γεννήτρια	Κόστος εκκίνησης (€)	Οριακό κόστος (€/MWh)	Χωρητικότητα (MW)
Χαμηλού κόστος	500	0	20
Μέσου κόστους	1000	10	100
Υψηλού κόστους	2000	80	100

Οι παραγωγοί προορίζονται για την συνολική κάλυψη 200 MW ισχύος για το ηλεκτρικό δίκτυο των καταναλωτών.

$$\min 500 \cdot u_1 + 1000 \cdot u_2 + 10 \cdot p_2 + 2000 \cdot u_3 + 80 \cdot p_3$$

$$\text{s.t. } 0 \leq p_1 \leq 20 \cdot u_1$$

$$0 \leq p_2 \leq 100 \cdot u_2$$

$$0 \leq p_3 \leq 100 \cdot u_3$$

$$(\lambda): p_1 + p_2 + p_3 = 200, (2.2)$$

$$u_i \in \{0,1\}$$

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος περιλαμβάνει την διατύπωση του κριτηρίου βελτιστοποίησης - κόστους, καθώς και την συμπερίληψη των δεσμεύσεων για την επίλυση του. Οι δεσμεύσεις (constraints) περιλαμβάνουν την συμμετοχή ή όχι ενός παραγωγού στο πρόβλημα (παράμετροι u_i), καθώς και τις ελάχιστες - μέγιστες ποσότητες ισχύος που μπορούν να παρέχουν (p_i) εφόσον συμμετάσχουν στην επίλυση. Το συνολικό προσφερόμενο άθροισμα ισχύος προφανώς πρέπει να καλύψει επακριβώς τις διατυπωμένες ανάγκες ισχύος του ηλεκτρικού δικτύου (δηλαδή τα 200 MW).

Για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης καταστρώνεται η δυϊκή συνάρτηση με "χαλάρωση των περιορισμών", αναζητώντας την βέλτιστη λύση:

$$g(\lambda) = \min 500 \cdot u_1 + 1000 \cdot u_2 + 10 \cdot p_2 + 2000 \cdot u_3 + 80 \cdot p_3 - \lambda \cdot (p_1 + p_2 + p_3 - 200)$$

$$\text{s.t. } p_1 \leq 20 \cdot u_1, p_2 \leq 100 \cdot u_2, p_3 \leq 100 \cdot u_3$$

$$p_i \geq 0, u_i \in \{0,1\}$$

Το αρχικό πρόβλημα διασπάται σε υποπροβλήματα ανά παραγωγό μετασχηματίζοντας την γενικευμένη δυϊκή συνάρτηση στη μορφή:

$$g(\lambda) = g_1(\lambda) + g_2(\lambda) + g_3(\lambda) + 200 \cdot \lambda$$

όπου:

$$g_1(\lambda) = \min\{500 \cdot u_1 - \lambda \cdot p_1, 0 \leq p_1 \leq 20 \cdot u_1, u_1 \in \{0,1\}\}$$

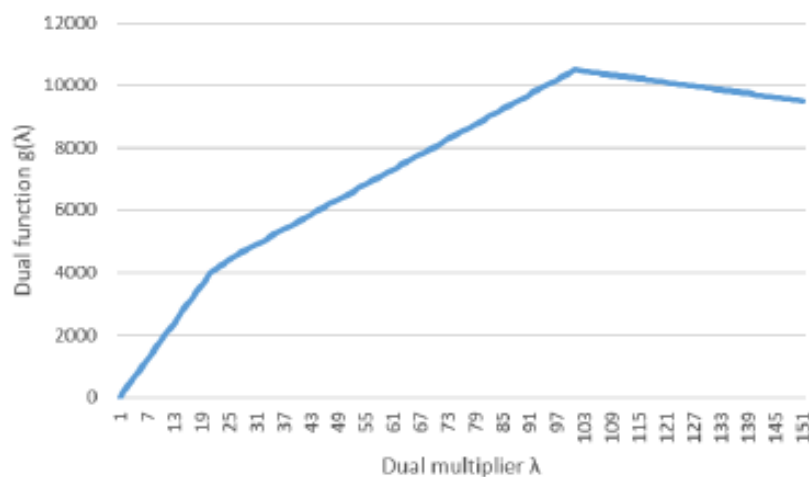
$$g_2(\lambda) = \min\{1000 \cdot u_2 + (10 - \lambda) \cdot p_2, 0 \leq p_2 \leq 100 \cdot u_2, u_2 \in \{0,1\}\}$$

$$g_3(\lambda) = \min\{2000 \cdot u_3 + (80 - \lambda) \cdot p_3, 0 \leq p_3 \leq 100 \cdot u_3, u_3 \in \{0,1\}\}$$

Επιλύοντας τα επιμέρους προβλήματα ανά παραγωγό/γεννήτρια προκύπτει η συνολική συνάρτηση:

$$g(\lambda) = \begin{cases} 200 \cdot \lambda, & \lambda \leq 20 \\ 2000 + 100 \cdot \lambda, & 20 < \lambda \leq 25 \\ 2500 + 80 \cdot \lambda, & 25 < \lambda \leq 100 \\ 12500 - 20 \cdot \lambda, & 100 < \lambda \end{cases}$$

Η συνάρτηση $g(\lambda)$ αποτελεί μία συνεχή αλλά μη παραγωγίσιμη συνάρτηση στα άκρα των διαστημάτων αλλαγής της περιγραφής της. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 22: Γραφική παράσταση της δυϊκής συνάρτησης $g(\lambda)$ για το πρόβλημα βελτιστοποίησης [20]

Η επίλυση του προβλήματος διατηρεί την πρώτη γεννήτρια ανενεργή, ενεργοποιώντας τις γεννήτριες 2 και 3, απαιτώντας 100 MW από κάθε μία από αυτές, για την κάλυψη των αναγκών του δικτύου.

Με ανάλογο τρόπο το πρόβλημα κάλυψης των αναγκών μίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αναχθεί στις παροχές ισχύος και τις απαιτήσεις ισχύος κατανάλωσης από πλευράς καταναλωτών. Η χρονική μεταβλητότητα αυτών των σημάτων, προφανώς απαιτεί την γρήγορη και επάλληλη επίλυση τέτοιων διαδοχικών προβλημάτων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επομένως, τα επιλυόμενα προβλήματα βελτιστοποίησης σε καθορισμένα "χρονικά παράθυρα" μπορούν να διασφαλίσουν την εύρυθμη λειτουργία μίας χρονικά μεταβαλλόμενης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντας χρήσιμα συμπεράσματα για την διακύμανση του οριακού κόστους, όπως αυτό διαμορφώνεται από τις συνθήκες προσφοράς και ζήτησης στο μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό δίκτυο.

Φαινόμενα όπως, η χρήση μίας "δεσπόζουσας θέσης" για έναν παραγωγό, μπορούν επίσης να μελετηθούν με ανάλογα τέτοια προβλήματα βελτιστοποίησης, μειώνοντας τα επίπεδα παροχής ισχύος για τον δεδομένο παραγωγό (ανεξαρτήτως του λόγου για τον οποίο μπορεί να προβαίνει στη μείωση προσφοράς ισχύος από πλευράς του). Προφανώς η σημαντικότητα της επίδρασης μίας τέτοιας μείωσης εξαρτάται από το επίπεδο μείωσης καθώς και την ενεργότητα στη συμμετοχή του στην αγορά. Άρα η κλιμάκωση ενός τέτοιου προβλήματος βελτιστοποίησης και η επίλυση του σε χρονικά διαστήματα, μπορεί να παράσχει χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία μίας ηλεκτρικής αγοράς.

Θα πρέπει να τονιστεί όμως, ότι τα μοντέλα βελτιστοποίησης αυτού του τύπου επιλύουν βέλτιστα το πρόβλημα κάλυψης ισχύος (με το μικρότερο οικονομικό κόστος αγοράς για την ηλεκτρική ενέργεια), χωρίς να διασφαλίζουν:

- είτε την μεγιστοποίηση των κερδών των παραγωγών αλλά ούτε
- και τη μεγιστοποίηση του οφέλους των καταναλωτών του δικτύου.

Προφανώς είναι αδύνατη η δημιουργία ενός κριτηρίου βελτιστοποίησης που θα μπορεί να μεγιστοποιεί και το κέρδος των παραγωγών αλλά και το όφελος των καταναλωτών, δεδομένου ότι οι τάσεις αυτών των συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμοιβαία αντικρουόμενες.

Επιμερίζοντας αυτό το εγγενές θέμα στο πρόβλημα βελτιστοποίησης όσον αφορά τους παραγωγούς μία συνάρτηση βελτιστοποίησης δεν μπορεί να γνωρίζει γιατί:

- οι παραγωγοί δίνουν τις δεδομένες προσφορές τιμής στην αγορά
- οι παραγωγοί προσφέρουν αυτά τα ποσά ισχύος στη δεδομένη χρονική στιγμή

Μία αίσθηση του κόστους παραγωγής ενός παρόχου μπορεί προφανώς να προκύπτει από την τεχνολογία που αυτός χρησιμοποιεί στις μονάδες του για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο παραγωγός ενέργειας μπορεί όμως πάντοτε να επικαλείται αστάθμητους παράγοντες και επιπλέον επαγόμενα κόστη για τη διαδικασία παραγωγής, τα οποία μπορεί να οφείλονται σε εξωτερικούς ή/και εσωτερικούς παράγοντες. Η δε παραγωγή των ποσών ισχύος που προσφέρονται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή στην αγορά, επίσης μπορεί να κυμαίνεται είτε στην προσπάθεια ανάπτυξης "δεσπόζουσας θέσης" είτε από προβλεπόμενους/απρόβλεπτους παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να μεταβάλλουν τα επίπεδα παραγωγής των μονάδων του παραγωγού.

Από πλευράς καταναλωτών το μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης δεν μπορεί να γνωρίζει:

- Ποιο είναι το μη οικονομικό όφελος των καταναλωτών από τις επιλογές τους

- Ποιά είναι η επιθυμία τιμής αγοράς των καταναλωτών

Συνολικά αντιμετωπίζοντας τη θεμελίωση ενός μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης θα πρέπει να θεωρηθούν ως δεδομένα:

- Οι τιμές προσφοράς ισχύος των Παραγωγών
- Τα ποσά ισχύος των Παραγωγών
- Τα αιτούμενα ποσά ισχύος των Καταναλωτών

Κλείνοντας την παρουσίαση του προβλήματος διαχείρισης της ηλεκτρικής αγοράς με χρήση και διατύπωση ενός προβλήματος μαθηματικής βελτιστοποίησης, θα πρέπει να επισημανθεί η σημαντική αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτρικού δικτύου, δηλαδή ότι κανένας καταναλωτής δεν θα πρέπει να βιώσει "έλλειμμα ενέργειας σε καμία χρονική στιγμή", διασφαλίζοντας ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλύψει ευσταθώς τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών ενός δικτύου σε στιγμιαίο επίπεδο.

3

Μοντέλο Προσομοίωσης της Αγοράς Ηλεκτρικής

Ενέργειας

3.1 Η έννοια της αυτόνομης ηλεκτρικής περιφέρειας - Grid

Με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την διάσπαση των μονοπωλιακών δομών παραγωγής και διανομής, η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας εισήχθη σε νέα δεδομένα από πλευράς παραγωγής και καταναλωτών. Με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, νέοι συμμετέχοντες, όπως οι μεταπωλητές εντάχθηκαν στο νέο σχήμα, ενώ από πλευράς καταναλωτή, ο τελευταίος απέκτησε την ελευθερία επιλογής μεταξύ πολλών διαθέσιμων παρόχων ισχύος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του, έναντι της μονοπωλιακής διασύνδεσής του με έναν πάροχο. Επιπλέον στους σύγχρονους καταναλωτές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέπεται η σύντομη σύναψη συμβολαίων αγοράς ενέργειας χωρίς να διέπονται από κυρώσεις για την διακοπή - αλλαγή των συμβολαίων τους με τους παρόχους (2024). Το νέο σχήμα της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενο στα διεθνή χρηματιστήρια αγοράς - πώλησης της, πλέον βασίζεται στους νόμους της ελεύθερης αγοράς, με βάση τους κανόνες προσφοράς και ζήτησης. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί όμως ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα "αναφαίρετο - βασικό αγαθό" για τον πολιτισμένο κόσμο, το οποίο δεν μπορεί να υπαχθεί επακριβώς στις τεχνικές αγορές, αποθήκευσης και διάθεσης του με βάση τις τρέχουσες ανάγκες, όπως με τα υπόλοιπα εμπορεύσιμα αγαθά (commodities). Ο ρόλος των συμμετεχόντων στην σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας. Σε αυτό το νέο σχήμα, στόχος από πλευράς των παραγωγών, μεταπωλητών, διανομέων είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους τους από την παραγωγή και πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Από την πλευρά των καταναλωτών, στόχος παραμένει η διασφάλιση φθηνής και αξιόπιστης ως προς την παροχή, ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο διανομής ισχύος. Προφανώς, οι δύο παραπάνω

στόχοι - τάσεις από τις πλευρές των συμμετεχόντων, είναι άμεσα αντικρουόμενοι, διαμορφώνοντας ένα δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο πεδίο τιμών για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και πωλείται, με βάση τις συνθήκες προσφοράς - ζήτησης καθώς και άλλες αλληλεπιδράσεις που αφορούν στις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας και τις δραστηριότητες κάθε καταναλωτή (π.χ. καιρικές συνθήκες, ανάγκες ενέργειας για την παραγωγή αγαθών και την άσκηση των δραστηριοτήτων, μεταβολή συνθηκών παραγωγής - κατανάλωσης, κ.λπ.).

Οι συνθήκες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι προφανώς διαρκώς μεταβαλλόμενες και στα επίπεδα παραγωγής τους, δεδομένης της εισαγωγής των Α.Π.Ε. στα σύγχρονα συστήματα παραγωγής. Όλοι οι παραπάνω λόγοι οδηγούν σε διαρκή μεταβολή των τιμών της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας και από πλευράς παραγωγών αλλά και από πλευράς καταναλωτών.

Επομένως ο κεντριοποιημένος χειρισμός της παραγωγής και της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργεί αυτόνομα πλέγματα - περιφέρειες (grids) των τοπικών αναγκών κάλυψης μίας επικράτειας. Η συνολική διασύνδεση και η αγοραπωλησία της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των χρηματιστηρίων, επιτρέπει την μετάδοση και λήψη ποσών ενέργειας από περιοχές εντός και εκτός της επικράτειας, όταν απαιτείται επιπλέον ισχύ για την λειτουργία τους, ενώ σε άλλες περιοχές η ισχύς πλεονάζει από τα υψηλότερα επίπεδα παραγωγής.

Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης με βάση τις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και του τρόπου λειτουργίας τους, με στόχο την βελτιστοποίηση στην απόδοση τιμών της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτή μεταβάλλεται στο χρόνο. Στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάστηκε το μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης και το απαιτούμενο υπόβαθρο για την επίλυση του, με βάση τα μεταβαλλόμενα στοιχεία της παραγωγής και των απαιτήσεων κατανάλωσης (τεχνικές βελτιστοποίησης με χρήση μη κυρτής ανάλυσης).

Το μοντέλο προσομοίωσης στοχεύει στην βέλτιστη εκκαθάριση των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας μίας αγοράς, λαμβάνοντας υπόψη τις διαθέσιμες πηγές κάλυψης (παραγωγοί) και τις τιμές της προσφερόμενης ενέργειας για κάθε τύπο τεχνολογίας κάθε παραγωγού. Η βελτιστοποίηση γίνεται με χρήση μαθηματικών αλγορίθμων και καταλήγει στην ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς από πλευράς καταναλωτών για την απόκτηση των απαιτούμενων ποσών ενέργειας για τη λειτουργία τους με βάση τις συνθήκες της προσφερόμενης αγοράς ηλεκτρικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή.

Οι συνθήκες αυτές οδηγούν σε μία κυμαινόμενη αγορά ως προς τις παρεχόμενες τιμές ενέργειας, η οποία με την δράση των χρηματιστηρίων ενέργειας οδηγεί σε ένα πρόβλημα μειοδοσίας για την απόκτηση των απαιτούμενων επιπέδων ενέργειας από πλευράς αγοράς. Η προκύπτουσα τιμή για κάθε μονάδα ενέργειας (kWh) μεταβάλλεται στο χρόνο με βάση τις συνθήκες που επικρατούν ως προς τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης. Στόχος των καταναλωτών αλλά και του μοντέλου βελτιστοποίησης είναι η επίτευξη, μέσω του παρεχόμενου ανταγωνισμού, της χαμηλότερης τιμής αγοράς. Αυτό οδηγεί σε μία διαδικασία δημοπρασίας (bidding) για την επιλογή της χαμηλότερης τιμής προσφερόμενης ενέργειας από τους παρόχους της αγοράς.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι δομές του μοντέλου προσομοίωσης, για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης της σύγχρονης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2 Δομές στη συγκρότηση του Μοντέλου Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Market_Model)

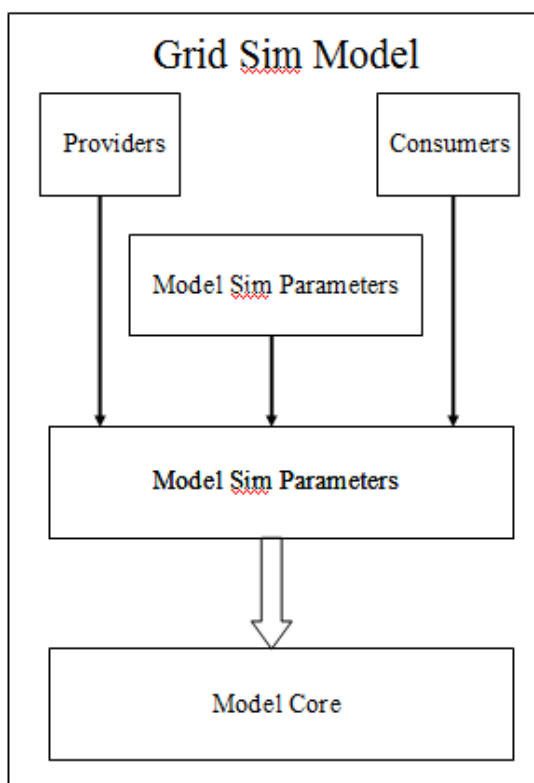
Το μοντέλο προσομοίωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Market_Model), αποτελεί μία υλοποίηση σε περιβάλλον Matlab ® [21], για την επίλυση στο χρόνο, της διαδικασίας αγοράς - πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, σε ένα grid καταναλωτών - παρόχων. Το μοντέλο συντίθεται:

- από την ομάδα παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας (providers),
- την ομάδα καταναλωτών (consumers) και
- τον πυρήνα του κώδικα προσομοίωσης, για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης ανάθεσης ισχύος.

Η προσομοίωση εκτελείται σε χρονικά δυναμικά βήματα (time steps), τα οποία έχουν καθοριστεί από τον χρήστη του μοντέλου με βάση τα αρχεία καθορισμού και των γενικών παραμέτρων του μοντέλου προσομοίωσης.

Τα χαρακτηριστικά των παρόχων ισχύος, ορίζονται ως χρονοσειρές δεδομένων, προσφοράς ισχύος και κόστους μέσω αρχείων τύπου excel (αρχείο Providers.xls). Η ομάδα των καταναλωτών ορίζεται επίσης, ως χρονοσειρά δεδομένων των απαιτήσεων ισχύος και της τιμής προσφοράς για την αγορά της, σε αρχείο τύπου Excel (Consumers.xls).

Το περιβάλλον προσομοίωσης, μετά την φόρτωση των χρονικών χαρακτηριστικών προσφοράς - ζήτησης ισχύος του grid, καταστρώνει το πρόβλημα βελτιστοποίησης για κάθε χρονική στιγμή (βήμα προσομοίωσης), και το επιλύει για να αποδώσει την αγορά ισχύος με βάση τους διαθέσιμους παρόχους που καλύπτουν τις απαιτήσεις ισχύος του grid (των καταναλωτών), επιτυγχάνοντας το μικρότερο κόστος εκκαθάρισης των αναγκών ισχύος της αγοράς για τη δεδομένη χρονική στιγμή.



Σχήμα 23: Εσωτερική δομή του μοντέλου προσομοίωσης Grid

Επομένως, σε κάθε βήμα της προσομοίωσης, επιλύεται κατά ανεξάρτητο τρόπο το πρόβλημα βελτιστοποίησης για την ανάθεση ισχύος στους καταναλωτές του grid από τους διαθέσιμους παρόχους με βάση τα ποσά ισχύος και τις τιμές πώλησης που προσφέρουν. Το βήμα της προσομοίωσης καθορίζεται από τα χρονικά δεδομένα παρόχων - καταναλωτών, όπως έχουν οριστεί στα αντίστοιχα αρχεία Excel. Επιπρόσθετα, το περιβάλλον προσομοίωσης, υπολογίζει σημαντικές παραμέτρους λειτουργίας του Grid, που αφορούν στην χρονική συμπεριφορά της ζήτησης και παροχής ισχύος στο grid, στον υπολογισμό του οριακού κόστους (Marginal Cost - MC), του συνολικού ωφέλους/ζημίας των παρόχων και των καταναλωτών του grid, κ.α. Η απεικόνιση των υπολογισμών γίνεται τόσο αριθμητικά (με εκτύπωση των αποτελεσμάτων στο Command window section του Matlab®), όσο και με τη χρήση γραφικών παραστάσεων συγκεκριμένων μεγεθών στα οριζόμενα χρονικά σημεία της προσομοίωσης, που μπορεί να επιλεγούν από τον χρήστη.

Για τον καθορισμό των παραμέτρων του συστήματος, το περιβάλλον προσομοίωσης, διαθέτει τμήμα καθορισμού παραμέτρων από τον χρήστη, εντός του περιβάλλοντος προσομοίωσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του μοντέλου προσομοίωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι απαιτούμενες δομές για την λειτουργία του.

3.2.1 Το αρχείο περιγραφής των Παρόχων (Providers.xls)

Το αρχείο Providers.xls περιλαμβάνει με τη μορφή χρονοσειράς, την απαιτούμενη πληροφορία για τους παρόχους ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος (grid). Ένας πάροχος ορίζεται με χρονοσειρά σε 3 στήλες στο αντίστοιχο αρχείο excel, οι οποίες περιλαμβάνουν την πληροφορία της ποσότητας διαθέσιμης ηλεκτρικής ισχύος προς παροχή στο σύστημα (Pmax (KW)), του αρχικού κόστους για την ενεργοποίηση της μονάδας παραγωγής ισχύος του παρόχου (Initial Cost (Eur)), καθώς και του κόστους παροχής μίας μονάδας ισχύος 1 KW (Sell Price (Eur/KW)). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει στο παραπάνω αρχείο, όσο πλήθος παρόχων επιθυμεί για την κάλυψη των αναγκών ισχύος του Grid. Ενδεικτικά παρουσιάζεται μία οργάνωση παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με 3 παρόχους διαφορετικών τεχνολογιών, με την μορφή του πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5: Τυπικό αρχείο Providers.xls για την προσομοίωση του μοντέλου

Hour	Prov#1 Offer (RE)			Prov#2 Offer (Gas)			Prov#3 Offer (Thermo)		
	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
0	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
1	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
2	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
3	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
4	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
5	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
6	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
7	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
8	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
9	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
10	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
11	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
12	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050

13	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
14	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
15	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
16	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
17	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
18	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
19	6.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
20	4.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
21	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
22	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050
23	0.00	0.00	0.100	5.00	5.00	0.120	10.00	10.00	0.050

Η 1η στήλη της οργάνωσης του αρχείου, ορίζει τα χρονικά σημεία της χρονοσειράς των δεδομένων κάθε παραγωγού σε ώρες. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει οποιεσδήποτε τιμές δεδομένων σε οποιονδήποτε από τους παρόχους μετέχουν στην κάλυψη των αναγκών του grid (π.χ. να αλλάξει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές το κόστος παροχής - αρχικής ενεργοποίησης καθώς και το ποσό ισχύος που μπορεί να παράσχει ένας παραγωγός στο grid, κ.λπ.), διαμορφώνοντας έτσι πολύπλοκα σενάρια για την διαδικασία της προσομοίωσης.

3.2.2 Το αρχείο περιγραφής των Καταναλωτών (Consumers.xls)

Το αρχείο περιγραφής των Καταναλωτών του μοντέλου, περιλαμβάνει με την μορφή οργάνωσης χρονοσειράς δεδομένων, τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος των καταναλωτών του grid, καθώς και την επιθυμητή τιμή αγοράς για κάθε καταναλωτή για μία μονάδα ισχύος 1 KW που επιθυμεί να αγοράσει από τους παρόχους του συστήματος, με βάση τις ενεργειακές του ανάγκες όπως μεταβάλλονται στο χρόνο. Κάθε καταναλωτής στο αρχείο ορίζεται από την πληροφορία χρονοσειράς σε δύο στήλες. Η πρώτη στήλη περιλαμβάνει τις απαιτήσεις ισχύος (Pdemand (KW)) του καταναλωτή στη δεδομένη χρονική στιγμή, ενώ η δεύτερη στήλη περιλαμβάνει το επιθυμητό κόστος αγοράς ανά μονάδα ηλεκτρικής ισχύος 1 KW (Pbidding (Eur/KW)). Ο χρήστης μπορεί να ορίσει όσους καταναλωτές επιθυμεί για προσομοίωση στο μοντέλο, με οποιαδήποτε χαρακτηριστικά, τα οποία αφορούν στα απαιτούμενα ποσά ισχύος και την επιθυμητή τιμή αγοράς όπως καθορίζεται να διαμορφωθεί ανά χρονική στιγμή. Ενδεικτικά παρουσιάζεται σε μορφή χρονοσειράς στο αρχείο, μία ομάδα 4 καταναλωτών.

Πίνακας 6: Τυπικό αρχείο Consumers.xls για την προσομοίωση του μοντέλου

Hour	Cons#1 Req		Cons#2 Req		Cons#3 Req		Cons#4 Req	
	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)
0	0.20	0.15	0.20	0.13	0.40	0.15	0.10	0.15
1	0.30	0.15	0.30	0.13	0.30	0.15	0.20	0.15
2	0.80	0.15	0.80	0.13	0.80	0.15	0.60	0.15
3	0.40	0.15	0.40	0.13	0.40	0.15	0.40	0.15
4	0.60	0.15	0.60	0.13	0.60	0.15	0.40	0.15
5	0.70	0.15	1.00	0.13	1.00	0.15	0.50	0.15
6	0.80	0.15	0.80	0.13	0.80	0.15	0.80	0.15
7	0.90	0.15	0.90	0.13	0.90	0.15	0.90	0.15
8	1.40	0.15	1.40	0.13	1.80	0.15	1.10	0.15
9	1.20	0.15	1.20	0.13	1.20	0.15	1.20	0.15

10	0.50	0.15	0.80	0.13	0.80	0.15	0.30	0.15
11	0.40	0.15	0.60	0.13	0.60	0.15	0.20	0.15
12	1.60	0.15	1.60	0.13	3.00	0.15	1.60	0.15
13	1.60	0.15	1.60	0.13	2.20	0.15	2.20	0.15
14	2.00	0.15	2.00	0.13	2.00	0.15	2.00	0.15
15	1.90	0.15	1.90	0.13	1.90	0.15	1.90	0.15
16	1.70	0.15	1.70	0.13	1.90	0.15	1.90	0.15
17	1.80	0.15	1.80	0.13	1.80	0.15	1.80	0.15
18	0.80	0.15	0.80	0.13	0.90	0.15	0.90	0.15
19	0.60	0.15	1.00	0.13	1.00	0.15	0.60	0.15
20	0.50	0.15	0.50	0.13	0.50	0.15	0.30	0.15
21	0.40	0.15	0.40	0.13	0.50	0.15	0.40	0.15
22	0.20	0.15	0.40	0.13	0.50	0.15	0.10	0.15
23	0.20	0.15	0.20	0.13	0.20	0.15	0.20	0.15

Η 1η στήλη της οργάνωσης ορίζει τις χρονικές στιγμές (ώρες) για τον καθορισμό της χρονοσειράς. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει οποιαδήποτε από τα χαρακτηριστικά επιθυμεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή για την διαδικασία της προσομοίωσης, διαμορφώνοντας μεταβαλλόμενες χρονικές συνθήκες ζήτησης ισχύος από την πλευρά των καταναλωτών του grid, ορίζοντας έτσι πιο πολύπλοκα σενάρια για την προσομοίωση.

Οι χρονικές στιγμές για τις καταναλώσεις των χρηστών θα πρέπει να συμφωνούν με τις χρονικές στιγμές για την παροχή ισχύος που ορίζονται στο excel των παρόχων. Για το χρονικό διάστημα που ορίζεται μεταξύ δύο χρονικών στιγμών οι απαιτήσεις ισχύος του καταναλωτή, όπως και οι προσφορές ισχύος των παρόχων θεωρούνται σταθερές και ίσες με τις αρχικές τιμές που ορίστηκαν στην αρχική χρονική στιγμή του διαστήματος.

3.2.3 Η εσωτερική δομή - οργάνωση του μοντέλου προσομοίωσης (Market_Model)

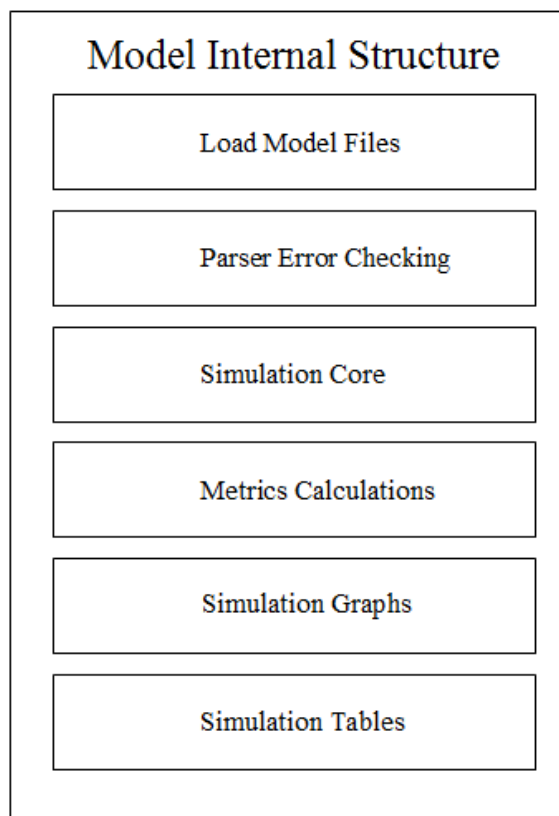
Το μοντέλο προσομοίωσης (Market_Model) περιλαμβάνει το σύνολο των παραμέτρων καθορισμού για την προσομοίωση, καθώς και τον πυρήνα του κώδικα που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης σε κάθε χρονική στιγμή για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με τα εξωτερικά παρεχόμενα αρχεία χρονοσειρών για τους Παρόχους και τους Καταναλωτές που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Αναλυτικά το περιβάλλον προσομοίωσης αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα κώδικα (code segments):

- Τμήμα καθορισμού Γενικών παραμέτρων (Model General Parameters)
- Τμήμα καθορισμού ειδικών παραμέτρων (Model Special Parameters)
- Πυρήνας Κώδικα μοντέλου προσομοίωσης

Ο κώδικας του μοντέλου προσομοίωσης έχει οργανωθεί στα ακόλουθα υπο-τμήματα (code segments):

- Τμήμα φόρτωσης των αρχείων Παρόχων/Καταναλωτών (Load Model Variables)
- Τμήμα ελέγχου ορθότητας παραμέτρων καθορισμού (Parser Error Checking)
- Τμήμα προσομοίωσης Μοντέλου (Simulation Model)
- Τμήμα υπολογισμού μετρικών επιδόσεων (Metrics Calculations)
- Τμήμα γραφικών αναπαραστάσεων (Simulation Graphs)
- Τμήμα υπολογισμού αριθμητικών αποτελεσμάτων (Simulation Tables)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα τμήματα του κώδικα καθώς και οι λειτουργίες τους για την σύνθεση του συνολικού μοντέλου προσομοίωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας Market_Model.



Σχήμα 24: Ανάλυση των υπο-τμημάτων του μοντέλου προσομοίωσης Grid

3.2.4 Τμήμα καθορισμού Γενικών παραμέτρων (Model General Parameters)

Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει τις γενικές παραμέτρους που ορίζει ο χρήστης για το μοντέλο προσομοίωσης. Οι παράμετροι καθώς και η σημασία τους παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 7: Γενικές Παράμετροι Συστήματος

Παράμετρος	Καθορισμός Παραμέτρου	Παρατηρήσεις
providers_file	Providers.xls	Η παράμετρος δηλώνει το μονοπάτι (path) για το αρχείο των Παρόχων του μοντέλου.
consumers_file	Consumers.xls	Η παράμετρος δηλώνει το μονοπάτι (path) για το αρχείο των Καταναλωτών του μοντέλου.
simp	Αριθμητική τιμή	Η παράμετρος ορίζει το πλήθος των σημείων προσομοίωσης του μοντέλου. Τα σημεία αυτά προσδιορίζονται από τις χρονικές στιγμές στις οποίες αντιστοιχούν

		από τα αρχεία Excel των Παρόχων και των Καταναλωτών του μοντέλου.
en_graphs	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ενεργοποιεί (y) ή απενεργοποιεί (n) την παρουσίαση γραφικών παραστάσεων από την προσομοίωση του μοντέλου.
gprovs_no	Αριθμητική Τιμή	Η παράμετρος επιλέγει τον πάροχο ισχύος τον οποίο θα απεικονίσει γραφικά στην χρονική εξέλιξη της προσομοίωσης με βάση τον αριθμό (ID) που αντιστοιχεί στην σειρά εμφάνισης του στο αρχείο των Παρόχων.
gcons_no	Αριθμητική Τιμή	Η παράμετρος επιλέγει τον καταναλωτή ισχύος τον οποίο θα απεικονίσει γραφικά στην χρονική εξέλιξη της προσομοίωσης με βάση τον αριθμό (ID) που αντιστοιχεί στην σειρά εμφάνισης του στο αρχείο των Καταναλωτών.
rel_gdata	Boolean (y/n)	Η παράμετρος επιλέγει εάν η απεικόνιση των γραφικών δεδομένων θα γίνει με τις ακριβείς αριθμητικές τους τιμές ή ως ποσοστό (%) με κανονικοποίηση στη μέγιστη ή τη συνολική τιμή ενός μεγέθους.
En_gprovs	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ενεργοποιεί (y) ή απενεργοποιεί (n) την παρουσίαση γραφικών παραστάσεων από την προσομοίωση του μοντέλου για τον πάροχο ισχύος που επιλέχθηκε.
En_gcons	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ενεργοποιεί (y) ή απενεργοποιεί (n) την παρουσίαση γραφικών παραστάσεων από την προσομοίωση του μοντέλου για τον καταναλωτή ισχύος που επιλέχθηκε.
en_gmarket	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ενεργοποιεί (y) ή απενεργοποιεί (n) την παρουσίαση γραφικών παραστάσεων από την προσομοίωση του μοντέλου για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (grid).
en_printout	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ενεργοποιεί (y) ή απενεργοποιεί (n) την παρουσίαση αριθμητικών συνολικών αποτελεσμάτων από την προσομοίωση του μοντέλου για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (grid).

3.2.5 Τμήμα καθορισμού ειδικών παραμέτρων (Model Special Parameters)

Το τμήμα περιλαμβάνει τον καθορισμό παραμέτρων ειδικού τύπου για την διαδικασία προσομοίωσης του μοντέλου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι παράμετροι παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 8: Ειδικές Παράμετροι Συστήματος

Παράμετρος	Καθορισμός Παραμέτρου	Παρατηρήσεις
multf_cons	Αριθμητική τιμή	Η παράμετρος πολλαπλασιάζει στο καθορισμένο αρχείο απαιτήσεων των καταναλωτών, τις απαιτήσεις ισχύος της χρονοσειράς των καταναλωτών. Στόχος είναι η κλιμάκωση μεγαλύτερων απαιτήσεων ισχύος στο μοντέλο προσομοίωσης, χωρίς να χρειάζεται μεταβολή αναλυτικά των παραμέτρων του αρχείου Consumers.xls.
mult_provs	Αριθμητική τιμή	Η παράμετρος πολλαπλασιάζει στο καθορισμένο αρχείο παροχής ισχύος τις προσφορές ισχύος της χρονοσειράς των Παρόχων. Στόχος είναι η κλιμάκωση μεγαλύτερων προσφορών ισχύος στο μοντέλο προσομοίωσης χωρίς να χρειάζεται μεταβολή αναλυτικά των παραμέτρων του αρχείου Providers.xls.
MaxProv_en	Boolean (y/n)	Η παράμετρος ρυθμίζει τον τρόπο "εκκαθάρισης" της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε βήμα προσομοίωσης. Με τιμή (n) η εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με βάση την τιμή που έχει ορίσει στην προσφορά του κάθε πάροχος ο οποίος διαθέτει ισχύ στην δεδομένη χρονική στιγμή στην αγορά. Με τιμή (y) η εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με την τιμή προσφοράς που έχει ορίσει στην προσφορά του ο Πάροχος με την υψηλότερη προσφορά και ο οποίος μετέχει στην εκκαθάριση τη δεδομένη χρονική στιγμή (Χρηματιστήριο Ενέργειας).

3.3 Πυρήνας Κώδικα του Μοντέλου Προσομοίωσης

Ο κώδικας του μοντέλου προσομοίωσης αποτελεί τον πυρήνα των διεργασιών επίλυσης του προβλήματος βελτιστοποίησης - εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εκτέλεση της διαδικασίας προσομοίωσης. Ο κώδικας οργανώνει τα υπομήματα (code segments) των διεργασιών που παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια της ενότητας.

3.3.1 Τμήμα μετα-φόρτωσης των αρχείων Παρόχων/Καταναλωτών (Load Model Variables)

Το τμήμα κώδικα μετα-φορτώνει τα αρχεία των Παρόχων (Providers.xls) και Καταναλωτών (Consumers.xls) του μοντέλου προς επεξεργασία από τον κώδικα του πυρήνα προσομοίωσης. Στη συνέχεια αναθέτει τα δεδομένα των χρονοσειρών των αρχείων σε μεταβλητές (διανύσματα) που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία στην φάση προσομοίωσης.

3.3.2 Τμήμα ελέγχου ορθότητας παραμέτρων καθορισμού (Parser Error Checking)

Σε αυτό το τμήμα του μοντέλου ελέγχεται η ορθότητα των παραμέτρων που έχουν καθοριστεί για την προσομοίωση. Λόγω της πολυπλοκότητας του μοντέλου, καθώς και του πλήθους των παραμέτρων που μπορούν να οριστούν από τον χρήστη, σε περίπτωση που ο χρήστης έχει δώσει λανθασμένες παραμέτρους, το περιβάλλον προσομοίωσης εντοπίζει το σφάλμα, διακόπτει την λειτουργία προσομοίωσης και πληροφορεί τον χρήστη για την λανθασμένη παράμετρο, με στόχο την διόρθωση της για τη συνέχιση της προσομοίωσης. Αναλυτικότερα, ο έλεγχος σφαλμάτων παραμέτρων περιλαμβάνει τους ακόλουθους ελέγχους (checks):

- Καθορισμός της ορθής δομής του αρχείου των Παρόχων
- Καθορισμός της ορθής δομής του αρχείου των Καταναλωτών
- Έλεγχος του πλήθους των βημάτων προσομοίωσης
- Έλεγχος της αντιστοιχίας των χρονοσειρών Παρόχων - Καταναλωτών
- Έλεγχος παραμέτρων παρακολούθησης γραφικών παραστάσεων Παρόχων - Καταναλωτών

3.3.3 Τμήμα του μοντέλου για την επίλυση του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης (Simulation Model)

Στο τμήμα προσομοίωσης εκτελούνται οι υπολογισμοί για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης για την εκκαθάριση του προβλήματος της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, για την ανάθεση και την κάλυψη των φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών από τους παρόχους του συστήματος με τον οικονομικότερο τρόπο. Η πληροφορία των χρονοσειρών που έχει μετα-φορτωθεί από τα αρχεία excel, οργανώνεται σε πίνακες με βάση τα χρονικά σημεία της προσομοίωσης. Οι πληροφορίες που αφορούν στους παρόχους έχουν ονόματα μεταβλητών της μορφής `provs_<όνομα μεταβλητής>` ενώ οι αντίστοιχοι πίνακες για την πληροφορία των καταναλωτών κάνουν χρήση ονομάτων μεταβλητών της μορφής `cons_<όνομα μεταβλητής>`.

Πριν την εκκίνηση της διαδικασίας της προσομοίωσης, το περιβάλλον προσομοίωσης ελέγχει ότι η προσφορά ισχύος από τους Παρόχους καλύπτει τις απαιτήσεις ισχύος των καταναλωτών για κάθε βήμα χρονικής προσομοίωσης του συστήματος. Στην περίπτωση που σε κάποια χρονική στιγμή η ισχύς δεν επαρκεί, ενημερώνει το χρήστη για το έλλειμμα ισχύος, διακόπτει την προσομοίωση και ζητά την διόρθωση της προσφοράς ισχύος στη δεδομένη χρονική στιγμή, έτσι ώστε να μπορεί να εκτελέσει τη διαδικασία της προσομοίωσης καλύπτοντας το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο του grid.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης για κάθε χρονική στιγμή γίνεται με την ακόλουθη συνάρτηση κόστους:

$$J = \sum_{i=1}^N (IC_i u_i + C_i P_i) \quad (3.1)$$

όπου:

- IC_i : είναι το κόστος ενεργοποίησης (Initial Cost - IC) του Παρόχου- i
 u_i : είναι η δικατάστατη (binary) Μεταβλητή με τιμή '0' όταν ο πάροχος δεν μετέχει στη βελτιστοποίηση και τιμή '1' όταν ο Πάροχος μετέχει στο πρόβλημα βελτιστοποίησης
 C_i : είναι το κόστος πώλησης (Cost - C) μίας μονάδας KW από τον Πάροχο - i
 P_i : είναι η ισχύς που παρέχεται στο μοντέλο από τον Πάροχο - i

Η παραπάνω συνάρτηση κόστους είναι υποκείμενη στις ακόλουθες δεσμεύσεις (constraints):

$$0 \leq P_i \leq P_{i_{\max}} \times u_i \quad \text{για } i=1, \dots, N \text{ πλήθος Παρόχων} \quad (3.2)$$

$P_{i_{\max}}$: είναι η μέγιστη τιμή ισχύος που ο Πάροχος - i μπορεί να προσφέρει στο grid στη δεδομένη χρονική στιγμή

$$\sum_{i=1}^N P_i = \sum_{j=1}^M D_j \quad (3.3)$$

όπου:

D_j : είναι οι απαιτήσεις κατανάλωσης (Demands - D) από τον καταναλωτή - j του μοντέλου

με $j=1, \dots, M$ το πλήθος των καταναλωτών του Grid.

Για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης σε κάθε χρονική στιγμή, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `intlinprog(f,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub)` του Matlab®.

Η συνάρτηση υπολογίζει το ελάχιστο ενός κριτηρίου κόστους σε ένα πρόβλημα συνεχών και διακριτών/δικατάστατων μεταβλητών. Το πρόβλημα για τη χρήση της συνάρτησης ορίζεται από τη μαθηματική μορφή:

$$\min_x f^T x \text{ subject to } \begin{cases} x(\text{intcon}) \text{ are integers} \\ A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases} \quad (3.4)$$

Στον κώδικα του τμήματος ορίζεται η συνάρτηση f , οι πίνακες ανισοτήτων A , b καθώς και ο πίνακας ισοτήτων για τις δεσμεύσεις του προβλήματος Aeq , beq . Επίσης, στο διάνυσμα `intcon` ορίζονται οι binary (δικατάστατες) μεταβλητές u_i για το πρόβλημα.

Η διαδικασία της προσομοίωσης επιλύει το πρόβλημα βελτιστοποίησης με χρήση ενός `for` - βρόχου για κάθε χρονικό σημείο της προσομοίωσης που έχει ορίσει ο χρήστης μέσω των αρχείων περιγραφών των Παρόχων/Καταναλωτών, εντοπίζοντας την βέλτιστη λύση που σε

κάθε χρονικό σημείο καλύπτει το σύνολο των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας του grid με το χαμηλότερο συνολικό κόστος.

Η συνάρτηση `intlinprog` μπορεί να χρησιμοποιήσει τους αλγόριθμους Branch-and-Bound, Branch-and-Cut και Branch-and-Price για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης με συνεχείς και binary μεταβλητές [23].

Ο αλγόριθμος Branch-and-Bound χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης με συνεχείς και binary μεταβλητές με τη χρήση διακλαδώσεων και αναζήτησης σε κάθε υποπρόβλημα. Ο αλγόριθμος Branch-and-Bound χρησιμοποιεί μια σειρά από μαθηματικές τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Κατά την εκτέλεσή του, ο αλγόριθμος διακλαδώνει τον χώρο αναζήτησης σε υποπροβλήματα και χρησιμοποιεί κριτήρια περιορισμού (bounds) για να περιορίσει την αναζήτηση σε υποσύνολα του χώρου που περιέχουν τη βέλτιστη λύση. Οι κρίσιμες έννοιες που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο είναι οι ανώτατοι και κατώτατοι φραγμοί (upper and lower bounds), καθώς και η αναζήτηση κατά βάθος (depth-first search) στο δέντρο αναζήτησης. Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος Branch-and-Bound προσπαθεί να εντοπίσει τη βέλτιστη λύση με μέθοδο διακλάδωσης και φραγμάτων (branching and bounding) για την καθοριζόμενη συνάρτηση κόστους.

Ο αλγόριθμος Branch-and-Cut συνδυάζει τη διαδικασία διακλάδωσης με τη χρήση αλγορίθμων κοπής (cutting planes) για να βελτιστοποιήσει την απόδοση. Ο αλγόριθμος Branch-and-Cut συνδυάζει τη διαδικασία διακλάδωσης με τη χρήση αλγορίθμων κοπής (cutting planes) για να βελτιστοποιήσει την απόδοση στην επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι κοπής είναι μαθηματικές τεχνικές που προσθέτουν περιορισμούς (cuts) στο πρόβλημα βελτιστοποίησης, με σκοπό τη μείωση του χώρου αναζήτησης και τη βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου. Ο συνδυασμός της διακλάδωσης και των αλγορίθμων κοπής επιτρέπει στον αλγόριθμο Branch-and-Cut να εξετάζει λιγότερες ενδεχόμενες λύσεις και να βρίσκει τη βέλτιστη λύση με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ταχύτητα.

Τέλος, ο αλγόριθμος Branch-and-Price είναι μια πιο προηγμένη εκδοχή του Branch-and-Bound που χρησιμοποιεί δυναμική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Στον αλγόριθμο Branch-and-Price, ο χώρος αναζήτησης διαχωρίζεται σε μικρότερα υποπροβλήματα που επιλύονται με τη χρήση δυναμικών μεθόδων προσέγγισης. Κάθε υποπρόβλημα επιλύεται με τη χρήση μιας αλγοριθμικής διαδικασίας που εστιάζει σε συγκεκριμένες πτυχές του προβλήματος. Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος Branch-and-Price επιτρέπει την αποδοτική επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης με μεγάλο αριθμό μεταβλητών και περιορισμών, επιτρέποντας την εξαγωγή βέλτιστων λύσεων σε περιπτώσεις όπου άλλοι αλγόριθμοι θα ήταν ανεπαρκείς.

Οι παραπάνω αλγόριθμοι είναι ευριστικοί αλγόριθμοι (heuristics) που χρησιμοποιούν μαθηματική βάση κυρτής ανάλυσης για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Έτσι, συνδυάζουν τη χρήση ευριστικών μεθόδων αναζήτησης με τη θεωρία της κυρτής ανάλυσης για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι κατά την εκτέλεση τους επιτυγχάνουν ένα αρχικό κόστος το οποίο και βελτιώνουν κατά την συνέχεια της εκτέλεσής τους. Όταν τα κατώφλια (thresholds) από την επιτυγχανόμενη βελτίωση δείχνουν μη σημαντικές μεταβολές, θεωρούν ότι έχουν επιτύχει την βελτιστοποίηση του προβλήματος, διακόπτοντας την διαδικασία αναζήτησης του αλγορίθμου.

3.4 Η επίδραση των Δομών Συσσώρευσης - Ανάκτησης Ενέργειας σε ένα μοντέλο προσομοίωσης Grid

Οι διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αποδειχθεί ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα μετά την ουσιαστική εισαγωγή των Α.Π.Ε. στα συστήματα παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας (net metering) [24]. Η συνεισφορά τους σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι εξαιρετικά σημαντική, δεδομένου ότι μπορεί να διασφαλίσουν τα ανακύπτοντα θέματα ευστάθειας της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού δικτύου, κατά τις χρονικές περιόδους όπου η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών [21].

Οι δυσκολίες στην υιοθέτηση συστημάτων αποθήκευσης και ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας οφείλονται κυρίως στην έλλειψη επαρκώς αναπτυγμένων τεχνολογιών για την δημιουργία συστοιχιών αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης, λόγω των τεχνολογικών περιορισμών στην ανάπτυξη τους, απαιτούν ένα σημαντικό κόστος για την προώθηση και εγκατάσταση τους στα σύγχρονα δίκτυα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης τους, με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες, είναι σημαντικό (2024) και επιβαρύνει το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, εφόσον οι αποθηκευτικές διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας εισαχθούν σε ένα ηλεκτρικό σύστημα, προσομοιώσεις έχουν καταδείξει τη σημαντική συνεισφορά τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών [21]. Οι συσσωρευτές λειτουργούν σε κάποιες χρονικές περιόδους ως πάροχοι ηλεκτρικής ισχύος (όταν η διαθέσιμη παραγόμενη ισχύς δεν επαρκεί και αυτοί είναι πλήρως φορτισμένοι) και άλλοτε ως καταναλωτές, αγοράζοντας ηλεκτρική ενέργεια για την φόρτιση τους από το δίκτυο. Στην περίπτωση όπου οι διαδικασίες φόρτισης σταθμιστούν χρονικά, δηλαδή ανατεθούν στις χρονικές περιόδους όπου το ηλεκτρικό δίκτυο παρουσιάζει περίσσεια ηλεκτρικής ισχύος (κυρίως κατά τις μεσημβρινές ώρες από τις Α.Π.Ε.), τότε οι συσσωρευτές μπορούν να επιδράσουν σημαντικά με μειωμένο κόστος προσφοράς στην συνολική λειτουργία του δικτύου, μη επιβαρύνοντας το κόστος παροχής ενέργειας προς τους τελικούς καταναλωτές [21]. Επιπλέον η λειτουργία τους μπορεί να απομειώσει την ανάπτυξη ρύπων κατά την συνολική λειτουργία ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο παρόν μοντέλο για την ανάλυση του οριακού κόστους κατά την μελέτη προσομοίωσης του δικτύου δεν έχει γίνει χρήση συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας.

3.5 Προσομοίωση και Ανάλυση αποτελεσμάτων στο Μοντέλο

Στο μοντέλο προσομοίωσης για την ανάλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης έχει δοθεί σημαντική έμφαση στα θέματα ανάπτυξης μετρικών (metrics) για τον έλεγχο των επιδόσεων του συνολικού μοντέλου. Οι μετρικές αφορούν τόσο σε αριθμητικά όσο και σε γραφικά απεικονιζόμενα μεγέθη όπως αυτά εξελίσσονται κατά την διάρκεια των σεναρίων προσομοίωσης.

3.6 Μετρικές Επιδόσεων και Αξιολόγησης του Μοντέλου

Οι κύριες μετρικές απόδοσης για τον έλεγχο της ποιότητας επίλυσης του προβλήματος εκκαθάρισης ηλεκτρικής ενέργειας, αφορούν στο Μέσο Οριακό Κόστος που απαιτείται για την αγορά μίας μονάδας ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο.

Η ανάλυση του μοντέλου υπολογίζει τα κέρδη των παρόχων με βάση τον τρόπο εκκαθάρισης της αγοράς, τις ζημίες που οι πάροχοι υπόκεινται με βάση το αδιάθετο ποσό

ισχύος προς το σύστημα, ενώ για τους Καταναλωτές προσδιορίζει αφενός το κόστος για την αγορά των απαιτούμενων ποσών ενέργειας με βάση την τιμή εκκαθάρισης του συστήματος. Το όφελος ή η ζημία για τους Καταναλωτές προσδιορίζεται με βάση τα επίπεδα επιθυμητής τιμής ανά μονάδα ισχύος που οι ίδιοι οι καταναλωτές έχουν καθορίσει στο αρχείο των παραμέτρων Καταναλωτών. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης σε συνδυασμό με την λειτουργία των χρηματιστηριακών δομών για την αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας συνιστά ένα πλαίσιο συνεχούς διακύμανσης των τιμών. Κατά συνέπεια η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται δυναμική με βάση τις συνθήκες προσφοράς και ζήτησης, οδηγώντας τις διαδικασίες των αγοραπωλησιών σε μορφές δημοπρασιών, όπως και για τα υπόλοιπα κοινά αγαθά που διακινούνται στις αντίστοιχες αγορές. Ο Καταναλωτής έχει σαφή συμμετοχή στις δημοπρασίες μέσω της επιλογής τιμών που ο ίδιος καθορίζει με στόχο την απομείωση του κόστους του για την αγορά των ποσών ενέργειας που απαιτεί για την κάλυψη των αναγκών του.

Έτσι ένας καταναλωτής αφενός μπορεί να επιλέγει τον πάροχο ισχύος με την μικρότερη τιμή προσφοράς αλλά και να εναλλάσσει στο χρόνο την προτίμηση του. Σε μία μεσοσταθμική όμως προσέγγιση για την εκκαθάριση των αναγκών ενός grid, η μέση τιμή μίας μονάδας ισχύος προκύπτει από το σύνολο της αγοράς ισχύος από το σύνολο των παρόχων που μετέχουν στο πρόβλημα εκκαθάρισης των αναγκών της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας. Επομένως ο ρόλος των καταναλωτών σε τέτοια μοντέλα δεν είναι ο κυριότερος παράγοντας για την διαμόρφωση των τιμών της αγοράς.

3.6.1 Τμήμα υπολογισμού μετρικών επιδόσεων (Metrics Calculations)

Στο τμήμα αυτό υπολογίζονται συνολικές μετρικές εκτιμήσεων για το σενάριο προσομοίωσης που καθορίστηκε από τα αρχεία Παρόχων - Καταναλωτών. Οι μετρικές ελέγχου επιδόσεως για ένα σενάριο προσομοίωσης, αφορούν στα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Συνολικό κέρδος Παρόχων
- Συνολικές Απώλειες/Ζημιές Παρόχων
- Ποσοστό Συμμετοχής των Παρόχων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- Συνολική απαιτούμενη ισχύ από τους Καταναλωτές
- Συνολικό Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ισχύος από τους Καταναλωτές
- Κέρδος/Ζημία των Καταναλωτών
- Συνολική Μέγιστη προσφερόμενη ισχύ από τους Παρόχους προς το Grid
- Συνολική απαιτούμενη ισχύς προς Κατανάλωση στο Grid
- Ποσοστό μέγιστης προσφερόμενης ισχύος σε σχέση με τα ζητούμενα επίπεδα κατανάλωσης
- Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος

Οι μετρικές, με τα καθορισμένα ονόματα των μεταβλητών τους, συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 9: Μετρικές Επιδόσεων της προσομοίωσης

Μετρική	Καθορισμός Παραμέτρου	Παρατηρήσεις
tot_provs_profit	Αριθμητική τιμή	Προσδιορίζει το Κέρδος κάθε Παρόχου για το σύνολο των σημείων της

		προσομοίωσης Το κέρδος κάθε παρόχου υπολογίζεται από το γινόμενο της ποσότητας ισχύος που πωλήθηκε στο grid επί τις χρονικές διάρκειες + επιπλέον κόστη που ο Πάροχος απαιτεί για την ενεργοποίηση των μονάδων του.
tot_provs_loss	Αριθμητική τιμή	Προσδιορίζει τις απώλειες κέρδους κάθε παρόχου για το σύνολο των σημείων της προσομοίωσης. Οι απώλειες του παρόχου υπολογίζονται από το σύνολο του κέρδους που ένας πάροχος θα μπορούσε να αποκομίσει εφόσον οι μονάδες του διέθεταν την μέγιστη τους ισχύ στο grid (προσδόκιμο κέρδος) - το πραγματικό κέρδος που αποκόμισε από την πώληση ισχύος στο grid.
tot_provs_participate	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει ποσοστιαία (%) τη συμμετοχή του κάθε παρόχου στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την ισχύ που διέθεσε στην αγορά ως προς το σύνολο της ισχύος που διατέθηκε από όλους τους Παρόχους για την Εκκαθάριση των αναγκών της Αγοράς.
tot_cons_power	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει τη συνολική ισχύ που αγόρασε κάθε καταναλωτής του grid σε όλη τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης.
tot_cons_cost	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει το κόστος αγοράς ισχύος για κάθε καταναλωτή του grid σε όλη τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης.
tot_cons_profit	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει το όφελος ή την ζημία που έχει υποστεί κάθε καταναλωτής, με βάση την τιμή στην οποία πραγματικά αγόρασε την ηλεκτρική ισχύ από το σύστημα ισχύος, δεδομένης της προσφοράς για την αγορά ισχύος που είχε καταθέσει ο ίδιος για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου.
sim_provs_pmax	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει το σύνολο της προσφερόμενης ισχύος που διαθέτουν οι πάροχοι στο Grid για όλο το σύνολο της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης.
sim_cons_reqp	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει τη συνολική ισχύ που απαιτήσαν οι καταναλωτές για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης από το grid.
sim_ratio	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει το ποσοστό της ισχύος που καταναλώθηκε από τους καταναλωτές σε σχέση με την μέγιστα προσφερόμενη συνολική ισχύ από τους

		παρόχους.
sim_KWh_price	Αριθμητική τιμή	Η μετρική προσδιορίζει το Μέσο Οριακό Κόστος (Average Marginal Cost - aveMC) της τιμής 1 KWh ενέργειας για τον καταναλωτή.

3.6.2 Τμήμα γραφικών αναπαραστάσεων (Simulation Graphs)

Στο τμήμα αυτό παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις για τις χρονοσειρές των παραγόμενων δεδομένων από τη διαδικασία της προσομοίωσης στο grid. Οι γραφικές παραστάσεις αφορούν στα ακόλουθα μεγέθη:

- Συμμετοχή του επιλεγμένου Παρόχου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Κέρδος του Επιλεγμένου Παρόχου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Απώλειες του Επιλεγμένου Παρόχου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Εμφάνιση Αρχικού Κόστους του Επιλεγμένου Παρόχου στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Κόστος του Επιλεγμένου Καταναλωτή στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Κέρδος/Ζημιές του Επιλεγμένου Καταναλωτή στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης
- Κέρδος όλων των Παρόχων για το σενάριο προσομοίωσης
- Ζημιές όλων των Παρόχων για το σενάριο προσομοίωσης
- Ποσοστό συμμετοχής όλων των Παρόχων στο grid για το σενάριο προσομοίωσης
- Κόστος για όλους τους Καταναλωτές του grid για το σενάριο προσομοίωσης
- Κέρδος/Ζημιές για όλους τους Καταναλωτές του grid για το σενάριο προσομοίωσης
- Διακύμανση του Οριακού Κόστους για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης
- Συνολικές Απαιτήσεις Ισχύος των Καταναλωτών για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης
- Συνολική Μέγιστη προσφερόμενη Ισχύ από τους Παρόχους για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης
- Ποσοστό απορροφώμενης ισχύος στους Καταναλωτές από την προσφερόμενη μέγιστη ισχύ των Παρόχων για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης
- Μη απορροφώμενη (Υπολειπόμενη - Residual) ισχύς από τους Καταναλωτές από την προσφερόμενη μέγιστη ισχύ των Παρόχων για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης

3.6.3 Τμήμα υπολογισμού αριθμητικών αποτελεσμάτων (Simulation Tables)

Στο τμήμα αυτό παρουσιάζονται οι αριθμητικές τιμές από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης συνολικά για το Grid, οι οποίες συνοψίζουν τα αποτελέσματα. Περιλαμβάνουν:

- Μέση Τιμή του Οριακού Κόστους (KWh_Eur)
- Σύνολο Ηλεκτρικής Ενέργειας στους Καταναλωτές (ConsReqP_KWh)
- Σύνολο Προσφερόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας από τους Παρόχους (ProvsMaxP_KWh)
- Ποσοστό διατιθέμενης ηλεκτρικής Ενέργειας στους Καταναλωτές (PRatio_100)
- Ποσοστό Συμμετοχής κάθε Παρόχου στο σύστημα (ProvPart_100)
- Συνολικό Κέρδος κάθε Παρόχου (ProvProfit_Eur)
- Συνολικές Ζημιές κάθε Παρόχου (ProvLoss_Eur)
- Συνολικές απαιτήσεις Ενέργειας κάθε Καταναλωτή (ConsPWR_KWh)
- Συνολικό κόστος αγοράς Ενέργειας για κάθε Καταναλωτή (ConsCost_Eur)
- Συνολικό κέρδος/ζημία για κάθε Καταναλωτή (ConsProfit_Loss_Eur)

Στο κεφάλαιο της εργασίας που ακολουθεί, το μοντέλο Εκκαθάρισης της Αγοράς (Market_Model), θα κάνει χρήση πραγματικών δεδομένων από την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για την επιβολή προσομοίωσης.

4

Σενάρια Προσομοίωσης στο Μοντέλο Αγοράς

Ηλεκτρικής Ενέργειας

4.1 Περιγραφή Σεναρίου Προσομοίωσης

Για την εφαρμογή του σεναρίου προσομοίωσης επιλέχθηκαν πραγματικά δεδομένα αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας από τον ιστότοπο Epex [25], [26]. Τα δεδομένα για την προσομοίωση αφορούν σε πραγματικούς Παρόχους και Καταναλωτές για την Ελληνική Επικράτεια μέσω του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, για την ημέρα της 10ης Δεκεμβρίου του 2024 [26]. Τα δεδομένα για τους Παρόχους συνιστούν ένα 24ώρο καταγράφημα πραγματικών παροχών ισχύος από 10 διαφορετικούς παρόχους, οι οποίοι κάνουν χρήση διαφορετικών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως:

- Α.Π.Ε.
- Φυσικό Αέριο
- Καύση Λιγνίτη
- Εξωτερικός Πάροχος από Ιταλία
- Εξωτερικός Πάροχος από Τουρκία
- Υδροηλεκτρικός Σταθμός,
- Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής από Κρήτη
- Α.Π.Ε. από Κρήτη
- Μεταπωλητές

Για την αναλυτική διαμόρφωση του αρχείου των Παρόχων (Providers.xls) βλέπε Παράρτημα Β-1 Αρχείο Παρόχων Σεναρίου Προσομοίωσης. Το σύνολο μέγιστης προσφερόμενης ενέργειας από τους Παρόχους (παράμετρος ProvsMaxP_MWh) για το

σενάριο, ανέρχεται στις 218.67 MWh για τη διάρκεια των 24 ωρών του σεναρίου προσομοίωσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των Παρόχων που μετέχουν στο σενάριο προσομοίωσης (περιλαμβάνοντας Μέγιστη Προσφερόμενη Ισχύ, Κόστος Ενεργοποίησης Μονάδας Παραγωγής, Κόστος Πώλησης ανά μονάδα Ισχύος):

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Παρόχων Σεναρίου Προσομοίωσης

Provider	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
Prov#1 Offer (RES)	4771.196	300.00	0.027
Prov#2 Offer (Natural Gas)	4366.644	350.00	0.045
Prov#3 Offer (Lignite)	616	1500.00	0.292
Prov#4 Offer ITALY	188	0.00	0.632
Prov#5 Offer TURKEY	75	0.00	2.387
Prov#6 Offer (Big Hydro)	941	100.00	0.209
Prov#7 CRETE CONVENTIONAL	229	100.00	1.265
Prov#8 CRETE RE	107	0.00	1.091
Prov#9 IMPORT	223	0.00	2.386
Prov#10 IMPORT2	5000	0.00	0.05

Από τον πίνακα περιγραφής των Παρόχων Ηλεκτρικής Ενέργειας του σεναρίου προσομοίωσης, παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ισχύος διαθέτει ο Πάροχος#1 που βασίζεται σε Α.Π.Ε. (4771.196 KW) ενώ ακολουθεί ο Πάροχος#2 που βασίζεται σε φυσικό αέριο (4366.644 KW). Το μεγαλύτερο αρχικό κόστος ενεργοποίησης μονάδας εμφανίζει ο Πάροχος#3 που βασίζεται σε καύση λιγνίτη (1500 Eur), προφανώς λόγω των περιβαλλοντικών ρύπων από την καύση του λιγνίτη και των χρονικών απαιτήσεων ενεργοποίησης για την παραγωγή ενέργειας από την καύση.

Οι Καταναλωτές του συστήματος για το σενάριο προσομοίωσης, ήταν συνολικά 9, και η κατανάλωση τους σε χονδρική κλίμακα αφορούσε στις παρακάτω δραστηριότητες:

- Καταναλωτής για HV εφαρμογές
- Καταναλωτής για LV εφαρμογές
- Καταναλωτής για MV εφαρμογές
- Καταναλωτής Αντλιοστάσιου
- Καταναλωτής Απωλειών Α.Δ.Μ.Η.Ε.
- Καταναλωτής εφαρμογής Εξαγωγών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Καταναλωτής Φορτίων Οικισμών

Για την αναλυτική διαμόρφωση του αρχείου των Καταναλωτών (Consumers.xls) βλέπε Παράρτημα Β-2 Αρχείο Καταναλωτών Σεναρίου Προσομοίωσης. Το σύνολο απαιτούμενης ενέργειας από τους Καταναλωτές (παράμετρος ConsReqP_MWh) για το σενάριο, ανέρχεται στις 164.1 MWh για τη συνολική διάρκεια των 24 ωρών του σεναρίου προσομοίωσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των Καταναλωτών που μετέχουν στο σενάριο προσομοίωσης (περιλαμβάνοντας Μέγιστη Απαιτούμενη Ισχύ, Επιθυμητό Κόστος Αγοράς Μονάδας Ισχύος):

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Καταναλωτών Σεναρίου Προσομοίωσης

Consumer	Pdemand_Max (KW)	Pbidding (Eur)
Cons#1 HV	859.228	0.15
Cons#2 LV	4314.212	0.1
Cons#3 MV	1691.776	0.12
Cons#4 Pumps	235.00	0.2

Cons#5 Loss	246	0.1
Cons#6 Export	209	0.12
Cons#7 Export2	500	0.12
Cons#8 Export3	500	0.12
Cons#9 LOAD	407	0.15

Από τον πίνακα που περιγράφει τα χαρακτηριστικά των Καταναλωτών του grid, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσό ισχύος απαιτεί ο Καταναλωτής#2 (4314.212 KW) για εφαρμογές LV. Η μεγαλύτερη προσφορά για την αγορά ανά μονάδα ισχύος αφορά στον Καταναλωτή#4 με τιμή 0.2 Eur/KW ενώ την μικρότερη προσφορά δίνουν οι Καταναλωτές#2 και 5 με τιμή ανερχόμενη ανά μονάδα ισχύος στα 0.1 Eur/KW.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα από την διαδικασία προσομοίωσης του μοντέλου της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Market_Model) για χρονική διάρκεια 24 ωρών.

4.2 Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης

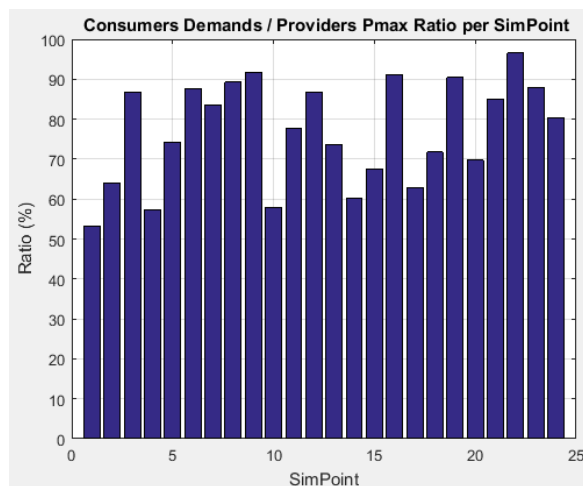
Τα αποτελέσματα από την διαδικασία της προσομοίωσης αφορούν σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα και παρουσιάζονται με γραφικό τρόπο για ολόκληρη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης, καθώς και με συνολικά αριθμητικά αποτελέσματα (μετρικές αξιολόγησης των επιδόσεων για το πρόβλημα βελτιστοποίησης). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αφορούν τους Παρόχους, τους Καταναλωτές καθώς και την συνολική εικόνα της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

4.2.1 Επίπεδα ενεργειακής κάλυψης των Παρόχων στο σενάριο

Σημαντική είναι η επιλογή του συνόλου των διατιθέμενων παρόχων ως προς την κάλυψη - επάρκεια των αναγκών ισχύος των καταναλωτών του grid. Υπερ-προσφορά στα επίπεδα της ηλεκτρικής ισχύος συνδυαζόμενη με μεγάλη συμμετοχή παρόχων, αναμένεται να αφήσει με βάση την εφαρμογή του κριτηρίου βελτιστοποίησης για την επίλυση του προβλήματος, σημαντικό μέρος των Παρόχων εκτός Αγοράς. Αυτό προφανώς θα αυξήσει την αίσθηση απωλειών - ζημιάς για τους Παρόχους. Από την άλλη πλευρά αυτό ενδεχόμενα να ωφελήσει τους Καταναλωτές ενός συστήματος, δίνοντας την δυνατότητα επιλογής φθηνότερων Παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην αντίθετη περίπτωση, έλλειψη στα επίπεδα απαιτούμενης ισχύος οδηγεί σε συμπερίληψη εξωτερικών παρόχων (imports) με βάση την λειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υπερπροσφορά ισχύος δεν οδηγεί άμεσα σε απομείωση των τιμών αγοράς ισχύος των Καταναλωτών απομειώνοντας τα επίπεδα προσφοράς των Παρόχων, δεδομένου ότι η τεχνολογία παραγωγής που χρησιμοποιεί κάθε πάροχος είναι δεδομένη και επιφέρει ανελαστικά αρχικά κόστη. Οπότε για την διαδικασία προσομοίωσης, οι τιμές προσφοράς των Παρόχων θεωρούνται σταθερές και δεδομένες, όπως καθορίστηκαν στην αρχή του σεναρίου.

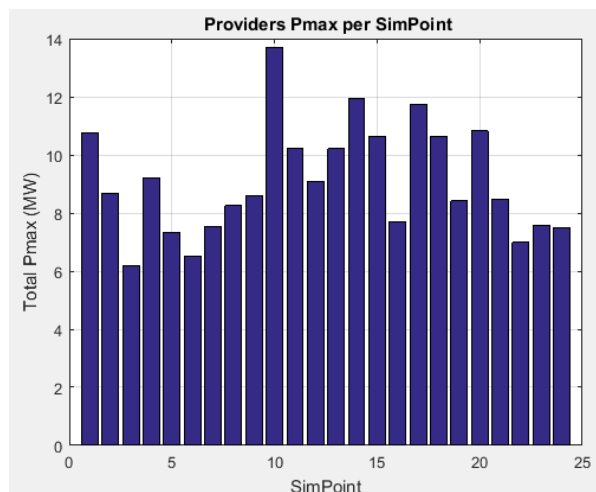
Τα επίπεδα κάλυψης ισχύος του grid για τη χρονική διάρκεια του σεναρίου, παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν:



Σχήμα 25: Ποσοστό απορροφώμενης ισχύος προς Κατανάλωση

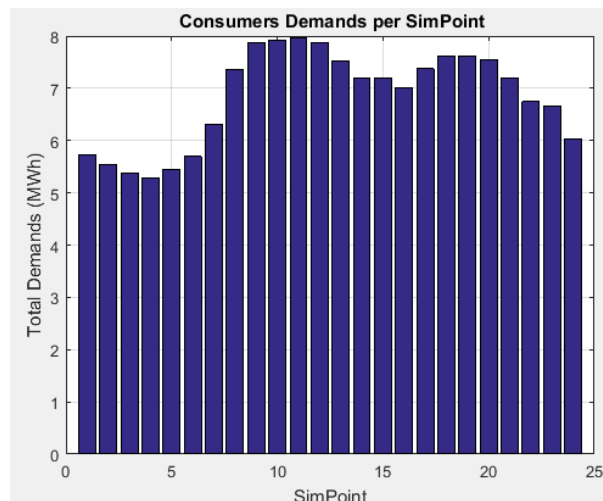
Από το διάγραμμα παρατηρούμε τα ποσοστά της απορροφώμενης ισχύος προς κατανάλωση για όλη τη διάρκεια του σεναρίου. Η ελάχιστη απορροφώμενη προς κατανάλωση ισχύς ανέρχεται ποσοστιαία σε τιμή 52% (48% αδιάθετης ισχύος από τους παρόχους), ενώ οι κορυφώσεις ως προς την κατανάλωση ισχύος ανέρχονται μέχρι το 98% (2% αδιάθετης ισχύος από τους παρόχους), κατά την 22η ώρα της προσομοίωσης. Επομένως, η συμπερίληψη του πλήθους των Παρόχων στο σενάριο κρίνεται επαρκής και αναγκαία ως προς την επάρκεια για κάλυψη των απαιτήσεων ισχύος των Καταναλωτών του grid, με τις διακυμάνσεις που οι καταναλώσεις εμφανίζουν κατά την διάρκεια του 24ώρου.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέγιστη ικανότητα Παροχής ισχύος από το σύνολο των Παρόχων προς το grid. Η μέγιστη προσφορά ισχύος εντοπίζεται στην 10η ώρα όπου οι δύο πρώτοι Πάροχοι (χρήση Α.Π.Ε. και φυσικού αερίου) συμβάλλουν σημαντικά στα συνολικά επίπεδα ισχύος. Προφανώς δεν γνωρίζουμε κατά πόσον ο Πάροχος που βασίζεται στις Α.Π.Ε. μεταπωλεί παραγόμενη ισχύ και σε άλλη αγορά.



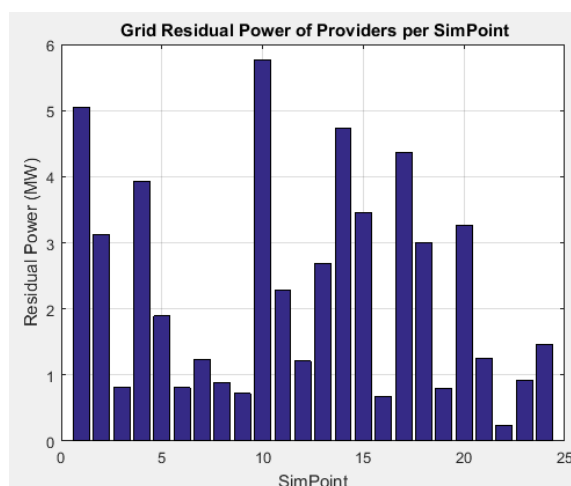
Σχήμα 26: Μέγιστη συνολικά προσφερόμενη ισχύς από τους Παρόχους στο σενάριο

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις στις απαιτήσεις ισχύος κατανάλωσης του grid. Η συμπεριφορά των καταναλωτών απαιτεί γύρω στα 5 MW ισχύος κατά τις πρώτες πρωινές ώρες, ενώ στη συνέχεια αυξάνει στα επίπεδα των 7 - 7.5 MW. Η αύξηση των επιπέδων κατανάλωσης συντελείται μετά την πάροδο της 9ης ώρας του σεναρίου, αντισταθμίζοντας έτσι τα επίπεδα της αυξημένης παροχής ισχύος από τους Παρόχους του συστήματος, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο διάγραμμα.



Σχήμα 27: Απαιτούμενη ισχύς από τους Καταναλωτές στο σενάριο

Από το διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρούμε τα επίπεδα της εναπομείνουσας - αδιάθετης (residual) ισχύος από τους Παρόχους προς το grid. Προφανώς η αδιάθετη ισχύς προκύπτει από την περίσσεια της παρεχόμενης ισχύος λόγω των χαμηλότερων επιπέδων κατανάλωσης, όπως διαμορφώνεται δυναμικά στο χρόνο, και συντελεί στις απώλειες - ζημίες των Παρόχων. Τα μέγιστα επίπεδα αδιάθετης ισχύος ανέρχονται στα 5.5 MW ενώ τα ελάχιστα επίπεδα είναι της τάξης των 0.2 MW. Επομένως αυτό συνιστά και ένα σημαντικό κριτήριο για την συμπερίληψη του πλήθους των απαιτούμενων Παρόχων για την κάλυψη των απαιτήσεων ισχύος των καταναλωτών του συστήματος. Σε αυτά τα όρια θα πρέπει επίσης να σταθμιστεί ένα ποσοστό ασφάλειας (Α.Δ.Μ.Η.Ε.) για την διασφάλιση της ευσταθούς λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου (εφεδρείες).



Σχήμα 28: Επίπεδα συνολικής υπολειπόμενης (Residual) ισχύος στο σενάριο

Η επαγόμενη ζημιά για τους Παρόχους σταθμίζεται με βάση τις ανάγκες του grid, δηλαδή η εκτιμώμενη ζημιά μπορεί να μην υφίσταται εφόσον σε μία ημερήσια πώληση ισχύος οι Πάροχοι έχουν ήδη πωλήσει με άλλα συμβόλαια την εναπομείνουσα ισχύ σε άλλες αγορές.

4.2.2 Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνολική ποσοστιαία συμμετοχή κάθε

παρόχου σε κάθε χρονικό σημείο της προσομοίωσης του σεναρίου. Το ποσοστό συμμετοχής (%) κάθε παρόχου προκύπτει ως ο λόγος του ποσοστού ισχύος που αυτός καλύπτει στη δεδομένη χρονική στιγμή για το grid, ως προς το σύνολο απαιτήσεως ισχύος της αγοράς στη δεδομένη χρονική περίοδο.

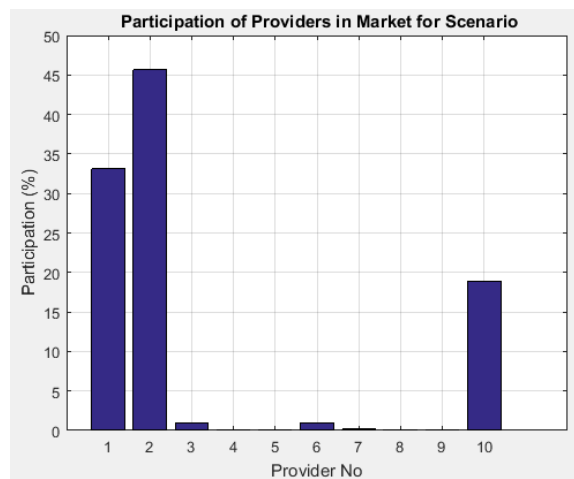
$$Prov_Participate(\%)(i) = 100 \times \frac{\sum_{j=1}^T P_{ij}}{\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N P_{ij}} \quad (4.1)$$

όπου:

N είναι το πλήθος των Παρόχων του συστήματος

$P_{ij}(t)$ το ποσό ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης

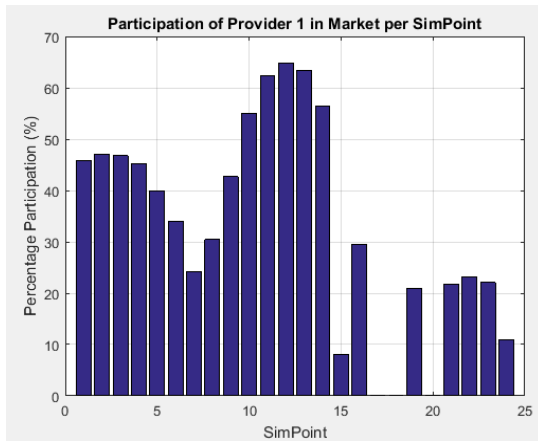


Σχήμα 29: Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο

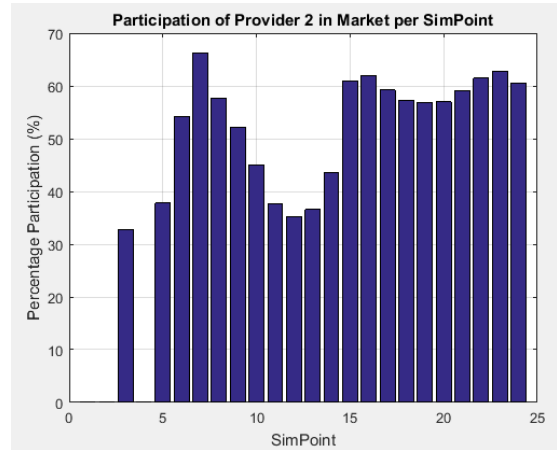
Από το γράφημα της 24ωρης προσομοίωσης παρατηρούμε ότι ο Πάροχος #2 κάλυψε τις ενεργειακές ανάγκες της τάξης του 45% του grid. Επίσης σημαντική είναι η συνεισφορά για την κάλυψη των αναγκών από τον Πάροχο#1 με ποσοστό συμμετοχής της τάξης του 34% και για τον Πάροχο#10 με κάλυψη της τάξης του 18%. Η υπόλοιπη απαιτούμενη ισχύς καλύπτεται από τους Παρόχους#3, 4, και 7. Οι υπόλοιποι πάροχοι παραμένουν σχεδόν ανενεργοί. Ο λόγος για την σχεδόν πλήρη κάλυψη των αναγκών του σεναρίου από τους Παρόχους#1, 2 και 10 οφείλεται στα χαμηλά κόστη ενεργοποίησης των μονάδων τους, σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα ισχύος που οι Πάροχοι#1 και 2 μπορούν να παράσχουν στο grid. Για τους παρόχους που δεν μετέχουν κατά σημαντικό ποσοστό στην κάλυψη των αναγκών του grid, αυτό κυρίως οφείλεται είτε σε υψηλές τιμές προσφοράς τους ανά μονάδα ισχύος είτε σε χαμηλά επίπεδα συνολικής προσφοράς ισχύος από μέρους τους.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται αναλυτικά σε κάθε χρονικό σημείο της προσομοίωσης, η συμμετοχή κάθε Παρόχου για την κάλυψη ισχύος στο σύστημα. Η συμμετοχή κάθε παρόχου αναφέρεται ποσοστιαία στη συνεισφορά του (%) για την κάλυψη του συνόλου των απαιτήσεων της αγοράς για τη δεδομένη χρονική στιγμή - βήμα της προσομοίωσης.

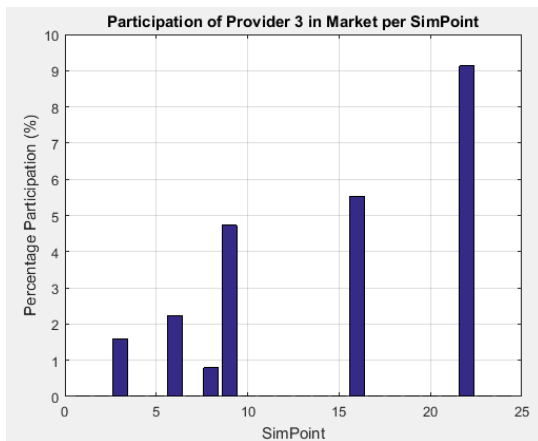
Πάροχος#1



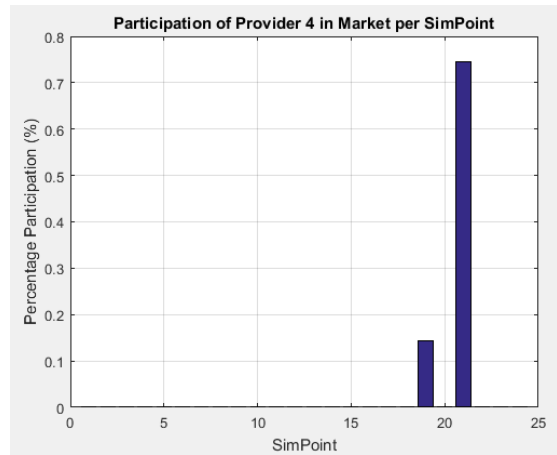
Πάροχος#2



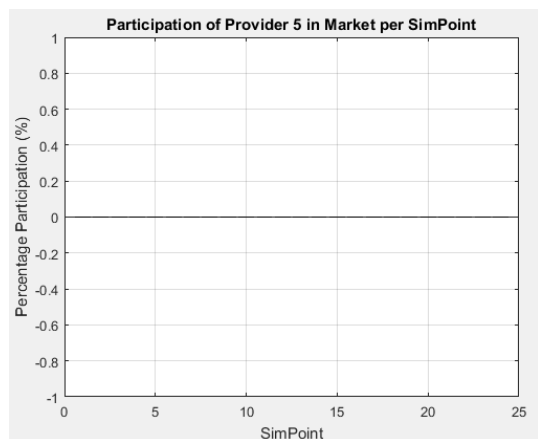
Πάροχος#3



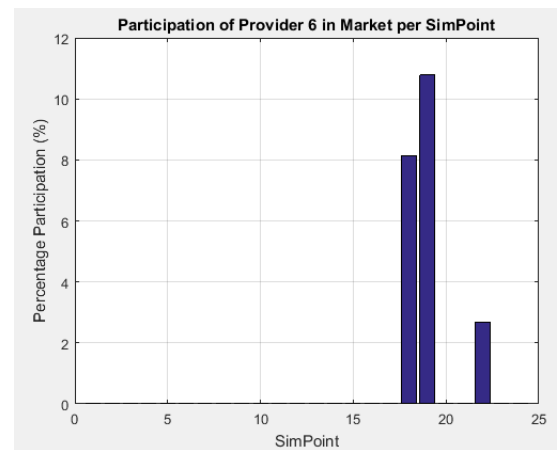
Πάροχος#4



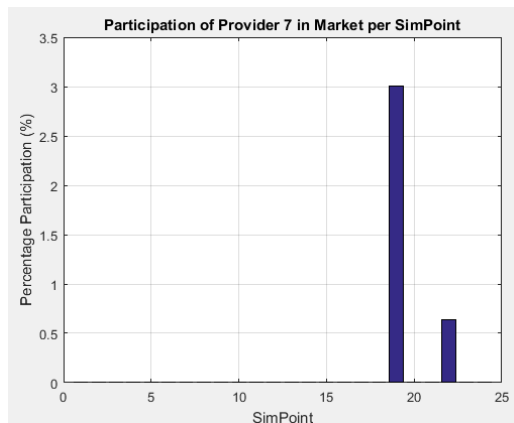
Πάροχος#5



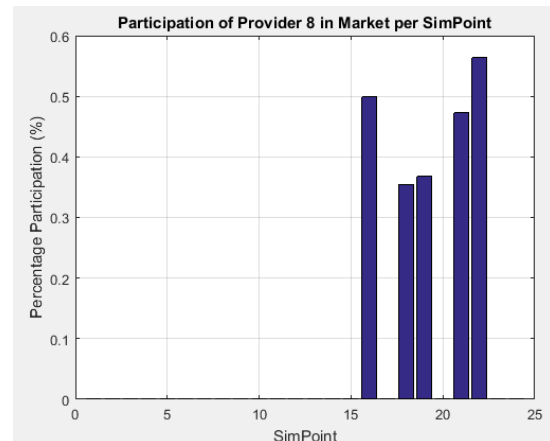
Πάροχος#6



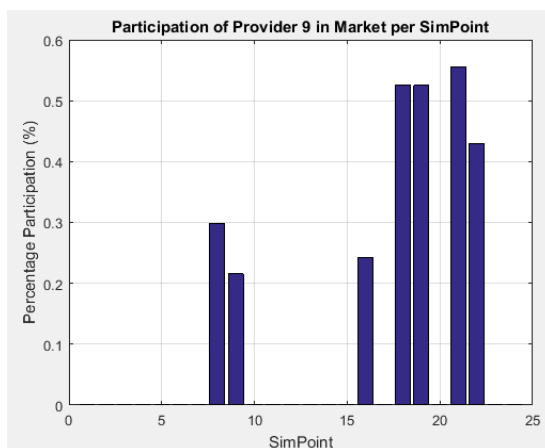
Πάροχος#7



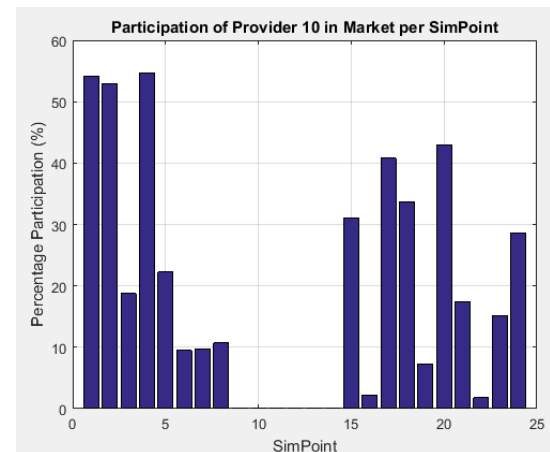
Πάροχος#8



Πάροχος#9



Πάροχος#10



Σχήμα 30: Αναλυτική Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο

Από τα αναλυτικά διαγράμματα συμμετοχής, συμπεραίνουμε ότι όλοι οι Πάροχοι συνεισφέρουν στο πρόβλημα βελτιστοποίησης για την εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με εξαίρεση τον Πάροχο#7 ο οποίος δίνει σχετικά υψηλή τιμή προσφοράς 1.265 Eur/KW, παρέχοντας μικρά ποσά ισχύος (της τάξης των 87 - 229 KW). Προφανώς ο αποκλεισμός του συμβαίνει διότι σε όλες τις χρονικές περιόδους - βήματα της προσομοίωσης, η παροχή ισχύος για την κάλυψη των αναγκών του grid τον καθιστά απορρίψιμο από την συνάρτηση κόστους του κριτηρίου βελτιστοποίησης.

4.2.3 Κέρδος και Απώλειες των Παρόχων στο σενάριο

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα κέρδους και απωλειών (ζημιών) των παρόχων από την συμμετοχή τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι τα κέρδη καθώς και οι ζημιές είναι ανάλογες με βάση τα χρονικά διαστήματα ενεργοποίησης και συμμετοχής τους, καθώς και του αρχικού κόστους που αυτοί εισάγουν κατά την ενεργοποίηση των μονάδων παραγωγής τους. Τό κέρδος προκύπτει από την ισχύ που ο πάροχος διέθεσε στη δεδομένη χρονική περίοδο επιπρόσθετα με τα αρχικά κόστη ενεργοποίησης των μονάδων του.

$$\text{Prov_Profit}(i) = IC_i u_{ij} + \sum_{j=1}^T P_{ij} C_{ij} \quad (4.2)$$

όπου:

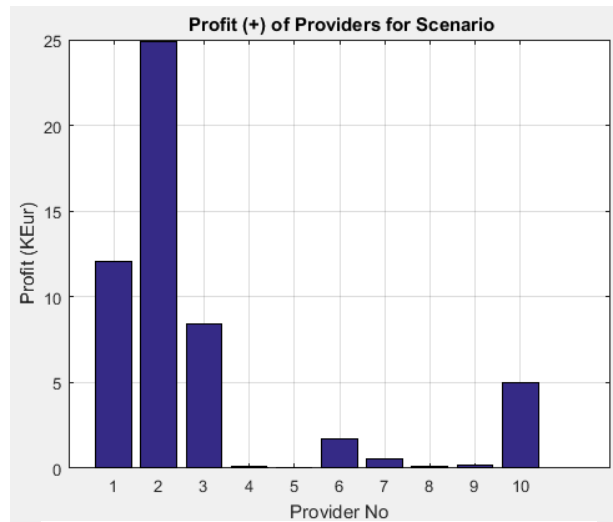
$IC_i(t)$ το κόστος ενεργοποίησης του Παρόχου#i

$u_{ij}(t)$ η ενεργοποίηση του Παρόχου#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$P_{ij}(t)$ το ποσό ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$C_{ij}(t)$ το κόστος πώλησης ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης



Σχήμα 31: Κέρδη των Παρόχων στο σενάριο

Παρατηρούμε ότι παρά την μικρή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του grid από τον Πάροχο#3 (κοντά στο 1%), αυτός εμφανίζει σημαντικό κέρδος στο σενάριο λόγω του αυξημένου κόστους ενεργοποίησης των μονάδων παραγωγής του. Κατά συνέπεια, ο πάροχος αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στην διαμόρφωση του οριακού κόστους λόγω της αυξημένης τιμής εκκαθάρισης της αγοράς για τις χρονικές περιόδους στις οποίες συμμετείχε για την κάλυψη των απαιτούμενων ενεργειακών αναγκών. Τα κέρδη για τους Παρόχους#1, 2 και 10 είναι αναλογικά του επιπέδου συμμετοχής τους στην ηλεκτρική αγορά (υψηλά επίπεδα συμμετοχής τους).

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι απώλειες - ζημιές των Παρόχων στο σενάριο. Οι απώλειες είναι προφανώς ανάλογες της μη συμμετοχής και της αδιάθετης ισχύος των παρόχων, λόγω του αποκλεισμού τους στην επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Προφανώς ο αποκλεισμός τους οφείλεται στο υψηλότερο κόστος προσφοράς ισχύος (συμπεριλαμβάνοντας και τα κόστη ενεργοποίησης των μονάδων τους).

$$\text{Prov_Loss}(i) = \sum_{j=1}^T [P_{\max i} - P_{ij}] C_{ij} \quad (4.3)$$

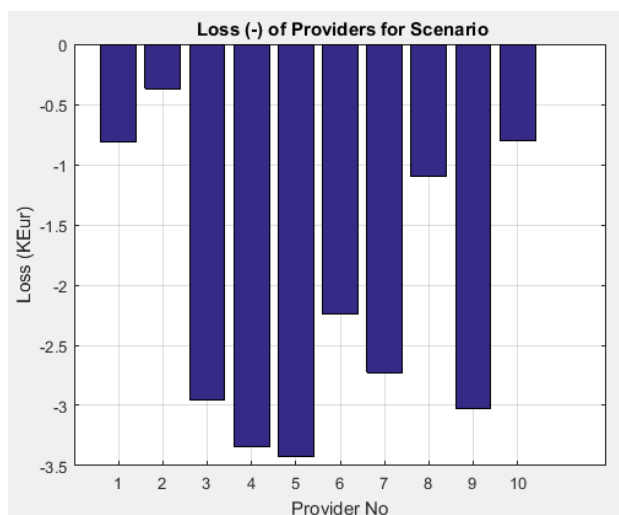
όπου:

$P_{\max i}$ το μέγιστο ποσό ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i

$P_{ij}(t)$ το ποσό ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$C_{ij}(t)$ το κόστος πώλησης ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης



Σχήμα 32: Απώλειες των Παρόχων στο σενάριο

Οι απώλειες των Παρόχων παρουσιάζονται για τη συνολική χρονική διάρκεια του σεναρίου (24 ώρες) σε χιλιάδες Eur (K€ur). Τις υψηλότερες ζημιές παρουσιάζουν οι Πάροχοι#4 και 5, οι οποίοι εμφανίζουν χαμηλή ενεργότητα - δραστηριοποίηση στην πώληση ισχύος στο grid. Οι συγκεκριμένοι πάροχοι (εισαγωγείς από Ιταλία - Τουρκία) διαθέτουν ισχύ με υψηλά κόστη ανά KW. Παρατηρούμε ότι και οι Πάροχοι#1 και 2 παρά την υψηλή συμμετοχή τους στην πώληση ισχύος, εμφανίζουν επίσης ζημιές λόγω αδιάθετων ποσών ισχύος. Η αίσθηση ζημιάς - απωλειών για ένα Πάροχο αφορά στο προσδόκιμο κέρδος που θα μπορούσε να επιτύχει πωλώνοντας προς το grid, το σύνολο της ενέργειας που διαθέτει μέσω των παραγωγικών μονάδων του. Επομένως η υπο-λειτουργία των μονάδων παραγωγής είναι αυτή που συνιστά τον κύριο παράγοντα των απωλειών. Από την άλλη πλευρά η μη επιλεξιμότητα ενός παρόχου οφείλεται στο οικονομικό κόστος, και κατά συνέπεια στην τεχνολογία που κάθε πάροχος χρησιμοποιεί για την παραγωγή της ενέργειας.

4.2.4 Κόστος Αγοράς ηλεκτρικής ισχύος Καταναλωτών. Κέρδος και Απώλειες των Καταναλωτών στο σενάριο

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα κέρδους και απωλειών των καταναλωτών του grid. Το κέρδος ενός καταναλωτή προκύπτει από την διαφορά μεταξύ του επιτυγχανόμενου οριακού κόστους σε σχέση με την επιθυμητή προσφορά για την αγορά ισχύος, που ο ίδιος ο καταναλωτής επιθυμεί. Οι απώλειες - ζημιές ενός Καταναλωτή προκύπτουν από την παραπάνω αρνητική διαφορά, δηλαδή όταν τα επίπεδα του οριακού κόστους ξεπερνούν την επιθυμητή τιμή αγοράς που ο καταναλωτής έχει δηλώσει για την αγορά ισχύος στο σενάριο. Προφανώς τα κέρδη καθώς και οι ζημιές των καταναλωτών αυξάνουν καθώς τα επίπεδα

ισχύος για αγορά από έναν καταναλωτή αυξάνουν. Επομένως η αίσθηση κέρδους - απώλειας από την πλευρά ενός καταναλωτή αφορά στα επίπεδα της τιμής που ο ίδιος θέτει για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα. Κατά συνέπεια ο καταναλωτής πρέπει να παρακολουθεί την διαμόρφωση του Μέσου Οριακού Κόστους του ηλεκτρικού δικτύου, δίνοντας "ρεαλιστικές τιμές - προσφορές αγοράς" προς την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

$$Cons_Profit_Loss(i) = \sum_{j=1}^T D_{ij} [MC_j - ConsC_i] \quad (4.4)$$

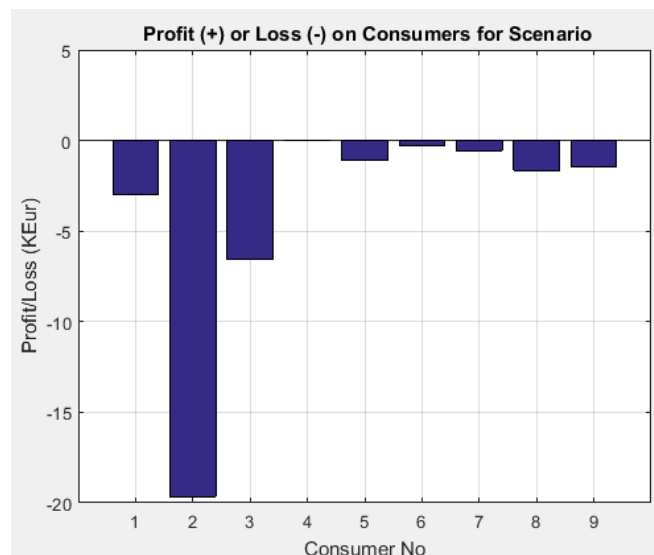
όπου:

$D_{ij}(t)$ οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος του Καταναλωτή#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$MC_j(t)$ το οριακό κόστος πώλησης ηλεκτρικής ισχύος στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$ConsC_i(t)$ η επιθυμητή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ισχύος του Καταναλωτή#i

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης



Σχήμα 33: Κέρδη και Απώλειες των Καταναλωτών στο σενάριο

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι σχεδόν όλοι οι Καταναλωτές του grid, υπόκεινται σε ζημία, με εξαίρεση των Καταναλωτή#4. Ο συγκεκριμένος καταναλωτής καλύπτει τις ανάγκες φορτίων αντλιών για μικρό χρονικό διάστημα (4 ώρες), επιζητώντας αγορά ισχύος με σχετικά υψηλή τιμή (0.2 Eur/KW) για την κάλυψη των αναγκών του. Οι απώλειες είναι σημαντικότερες για τον Καταναλωτή#2, ο οποίος επιζητά την κάλυψη σημαντικών φορτίων (εφαρμογές LV) για την συνολική 24ωρη διάρκεια του σεναρίου, προσφέροντας όμως χαμηλή τιμή αγοράς ανά μονάδα KW της τάξης του 0.1 Eur/KW. Οι απώλειες όλων των υπόλοιπων καταναλωτών κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η αίσθηση κέρδους - απώλειας για κάθε καταναλωτή βασίζεται κατά κύριο λόγο στην προσαρμοστικότητα του τελευταίου να επιζητά προσφορές αγοράς ηλεκτρικής ισχύος κοντά στο πραγματικό οριακό κόστος που μπορεί να επιτευχθεί για το grid.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το συνολικό κόστος αγοράς ανά Καταναλωτή για το σύνολο της απαιτούμενης ισχύος που αγοράστηκε κατά την εκτέλεση του σεναρίου.

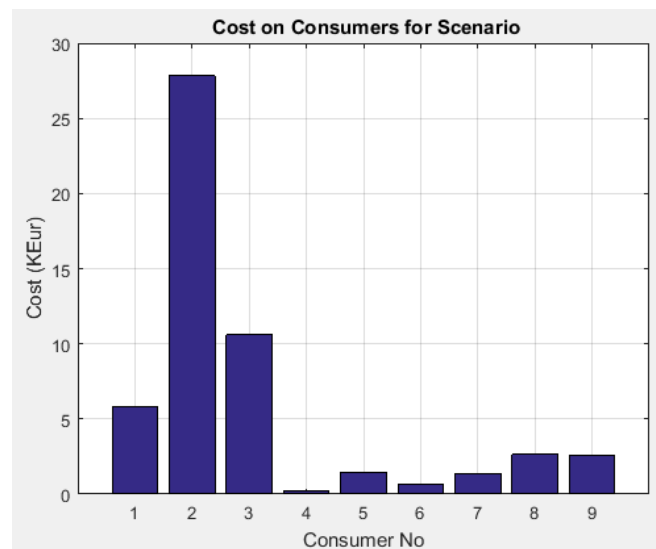
$$Cons_Cost(i) = \sum_{j=1}^T D_{ij} MC_j \quad (4.5)$$

όπου:

$D_{ij}(t)$ οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος του Καταναλωτή#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

$MC_j(t)$ το οριακό κόστος πώλησης ηλεκτρικής ισχύος στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (j)

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης

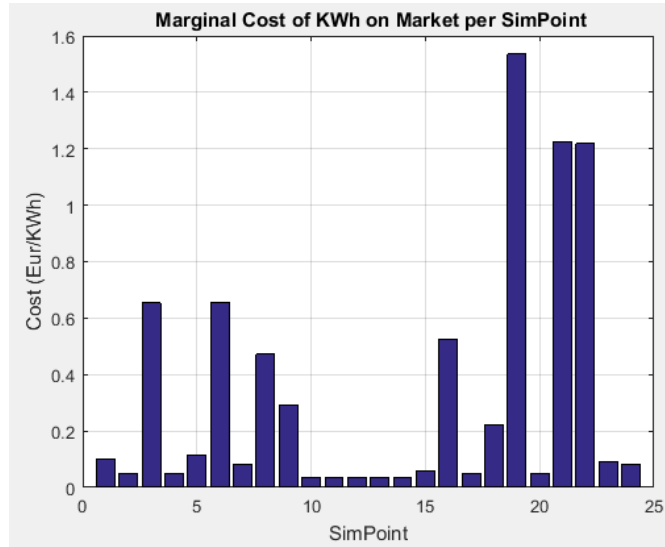


Σχήμα 34: Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ισχύος των Καταναλωτών στο σενάριο

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το υψηλότερο κόστος (27.8 KEur) αναφέρεται στον Καταναλωτή#2 (εφαρμογές LV), ο οποίος απαιτεί υψηλά ποσά ισχύος σε ολόκληρη τη διάρκεια του σεναρίου. Οι Καταναλωτές#1, 3 απαιτούν μικρότερα ποσά ισχύος με ανερχόμενο κόστος της τάξης των 5.8 και 10.2 KEur αντίστοιχα. Όλοι οι υπόλοιποι καταναλωτές του grid κυμαίνονται σε κόστη χαμηλότερα των 3 KEur για τη συνολική διάρκεια του σεναρίου.

4.2.5 Η διαμόρφωση της Οριακής Τιμής Κόστους στο σενάριο

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα διακύμανσης της οριακής τιμής κόστους (δηλαδή της απαιτούμενης τιμής για κάθε μονάδα ισχύος 1 KW) κατά την χρονική εξέλιξη της διαδικασίας των βημάτων προσομοίωσης του σεναρίου.



Σχήμα 35: Διακύμανση της Οριακής Τιμής Κόστους στο σενάριο

Η Οριακή Τιμή υπολογίζεται σε κάθε χρονική στιγμή της διαδικασίας προσομοίωσης (βήμα) για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, μέσω της σχέσης:

$$MC(t) = MC_j = \frac{\sum_{n=1}^N C_i(t)}{\sum_{n=1}^N P_i(t)} \quad (4.6)$$

όπου:

N είναι το πλήθος των Παρόχων του συστήματος

$C_i(t)$ το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (t)

$P_i(t)$ το ποσό ηλεκτρικής ισχύος από τον Πάροχο#i στο χρονικό διάστημα του βήματος της προσομοίωσης (t)

j το χρονικό βήμα του σεναρίου προσομοίωσης $j=1,2,\dots,T$

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης

Η Μέση οριακή τιμή κόστους υπολογίζεται συνολικά για την διαδικασία της προσομοίωσης μέσω της σχέσης:

$$aveMC = \frac{\sum_{j=1}^T \sum_{n=1}^N C_{ij}(t)}{\sum_{j=1}^T \sum_{n=1}^N P_{ij}(t)} \quad (4.7)$$

όπου:

T: το σύνολο των βημάτων για την χρονική ολοκλήρωση της διαδικασίας της προσομοίωσης

Από το διάγραμμα διακύμανσης παρατηρούμε ότι η Τιμή Οριακού Κόστους MC(t) μεταβάλλεται στην πορεία της διαδικασίας προσομοίωσης. Αυτό κυρίως οφείλεται στην μεταβλητότητα των ενεργειακών αναγκών για κάλυψη των Καταναλωτών, η οποία με την σειρά της αναγκάζει τον Διαχειριστή Συστήματος να προμηθεύεται ενέργεια και από ακριβότερους Παρόχους, οι οποίοι υπό άλλες συνθήκες προφανώς δεν θα ήταν επιλέξιμοι. Οι σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στα επίπεδα της Τιμής Οριακού Κόστους είναι αφενός τα κόστη ενεργοποίησης των μονάδων παραγωγής και αφετέρου η τιμή μονάδας ισχύος για τους Παρόχους που εισάγονται στην διαδικασία εκκαθάρισης της αγοράς. Όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Παρόχων Σεναρίου, παρατηρούμε ότι οι Πάροχοι που επιλέχθηκαν για το σενάριο εμφανίζουν:

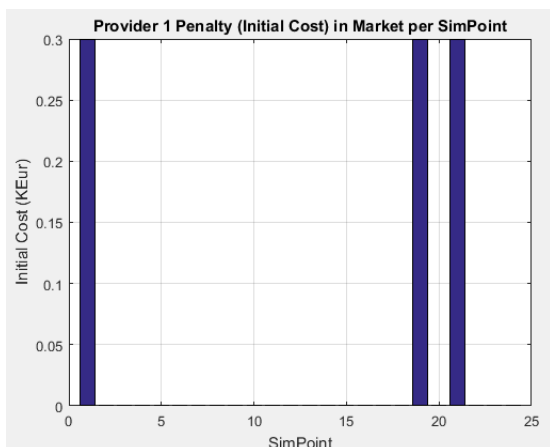
- Κόστη Ενεργοποίησης κατά φθίνουσα σειρά με βάση τον αριθμό θέσης (ID) τους (από τον ακριβότερο προς τον φθηνότερο): 3 - 2 - 1 - 6 - 7 - 4 - 5 - 8 - 9 - 10
- Τιμή πώλησης μονάδας ισχύος κατά αύξουσα σειρά με βάση τον αριθμό θέσης (ID) τους (από τον φθηνότερο προς τον ακριβότερο): 1 - 2 - 10 - 6 - 3 - 4 - 8 - 7 - 9 - 5

Επομένως τα κόστη ενεργοποίησης των μονάδων των Παρόχων σε συνδυασμό με την ποσότητα ισχύος που αγοράστηκε από το σύστημα διαχείρισης, είναι τα αίτια για την διακύμανση της Τιμής Οριακού Κόστους του grid. Σημαντικό παράγοντα επιδείνωσης της τιμής για το οριακό κόστος, αποτελεί η μη συνεχής ενεργότητα ενός Παρόχου, δηλαδή η διαδικασία ενεργοποίησης - απενεργοποίησης και εκ νέου ενεργοποίησης του, η οποία μπορεί να προκύψει από τις ανάγκες των Καταναλωτών και τις συνθήκες παραγωγής των υπολοίπων Παρόχων. Στην περίπτωση όπου ένας Πάροχος παραμένει ενεργοποιημένος για ολόκληρο τον κύκλο της διαδικασίας προσομοίωσης, είναι λογικό ότι εισάγει μόνο μία φορά (άπαξ) το κόστος ενεργοποίησης των μονάδων του για το Σύστημα. Στην περίπτωση που ο Πάροχος καλείται να παράγει διακοπτόμενη χρονικά ενέργεια, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαδοχική εισαγωγή του κόστους ενεργοποίησης του στην επόμενη επανα-ενεργοποίηση του για το grid.

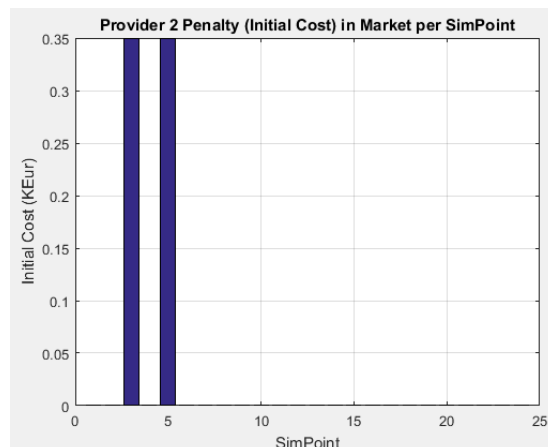
Από το διάγραμμα διακύμανσης της Οριακής Τιμής Κόστους παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τιμή της είναι της τάξης των 0.05 Eur/KW, ενώ η μέγιστη τιμή της ανέρχεται σε 1.5 Eur/KW περίπου, όταν προφανώς εισάγονται ακριβότεροι Πάροχοι για την διαδικασία Εκκαθάρισης της Ηλεκτρικής Αγοράς. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι με βάση την ισχύουσα διαδικασία οικονομικής εκκαθάρισης των Χρηματιστηρίων Ενέργειας (2024), η εισαγωγή ενός "ακριβού" Παρόχου στη διαδικασία εκκαθάρισης, αναπροσαρμόζει αυτόματα και τις οικονομικές εκκαθαρίσεις των υπολοίπων Παρόχων που μετείχαν στη δεδομένη χρονική περίοδο στην Αγορά, με βάση την τιμή που διαμορφώθηκε στην αγορά της μονάδας ισχύος από τον ακριβότερο Πάροχο.

Από το Σχήμα 30: Αναλυτική Συμμετοχή των Παρόχων στο σενάριο της προηγούμενης ενότητας, παρουσιάστηκε η αναλυτική συμμετοχή στα χρονικά σημεία προσομοίωσης των Παρόχων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του grid. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα επαγόμενα κόστη ενεργοποίησης για κάθε βήμα της χρονικής προσομοίωσης ανά Πάροχο.

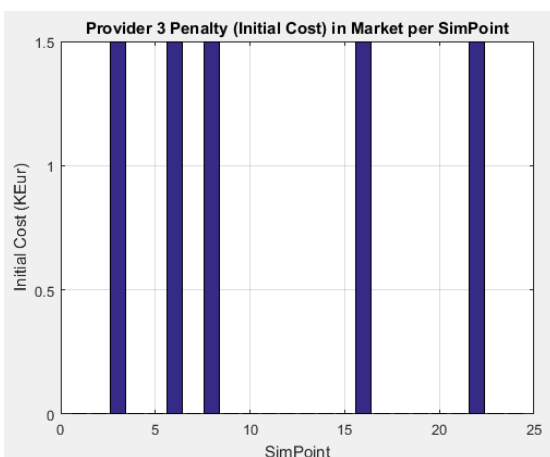
Πάροχος#1



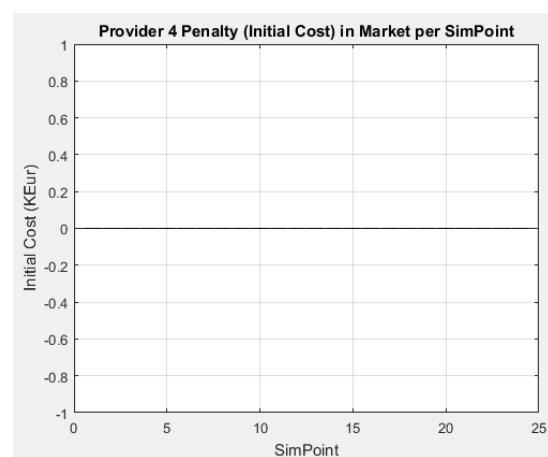
Πάροχος#2



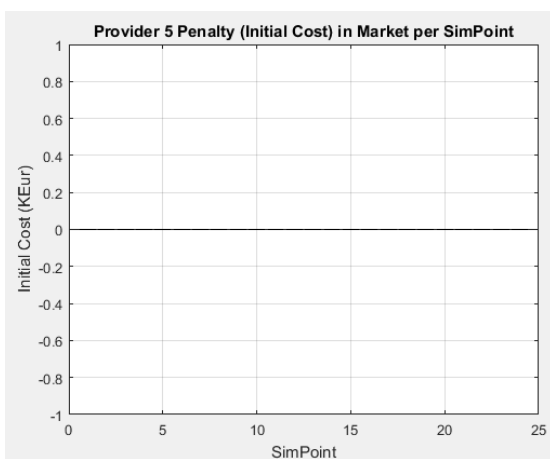
Πάροχος#3



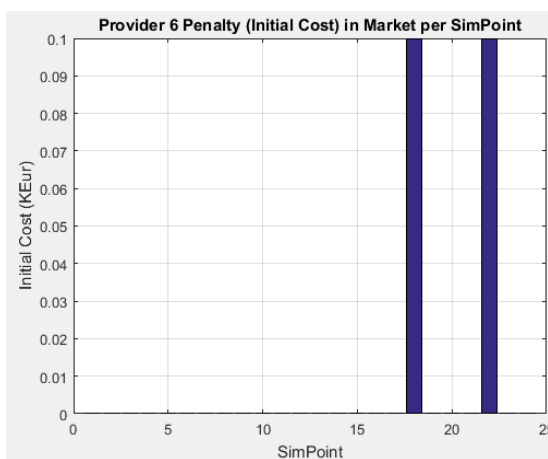
Πάροχος#4



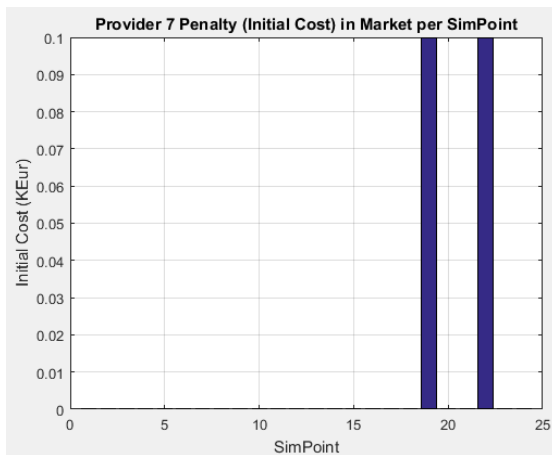
Πάροχος#5



Πάροχος#6



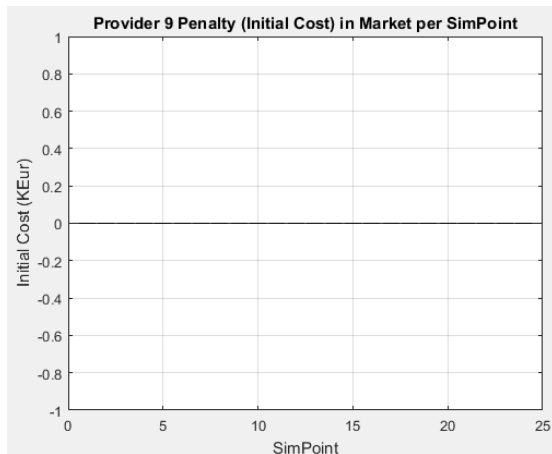
Πάροχος#7



Πάροχος#8



Πάροχος#9



Πάροχος#10



Σχήμα 36: Εισαγωγή τους Κόστους Ενεργοποίησης των Παρόχων στο σενάριο

Από το διάγραμμα ενεργοποίησης των Παρόχων παρατηρούμε ότι η τοπική διαδικασία βελτιστοποίησης που συντελείται ανά χρονικό σημείο από το μοντέλο προσομοίωσης, επάγει διαδοχικά κόστη ενεργοποίησης για τους Παρόχους#1, 2, 3, και 7. Ειδικότερα ο Πάροχος#3 επιδρά σημαντικά λόγω του αυξημένου κόστους ενεργοποίησης των μονάδων του, της τάξης των 1500 Eur για κάθε ενεργοποίηση του. Τα κόστη αυτά θα μπορούσαν να έχουν αποφευχθεί στο ενδεχόμενο μιας βελτιστοποίησης, η οποία θα λάμβανε υπόψη την κατάσταση ενός Παρόχου (ενεργός/ανενεργός), διατηρώντας τον σε ενεργή κατάσταση λειτουργίας προς το σύστημα, ακόμη και αν το σύστημα δεν χρειαζόταν την συνολικά παρεχόμενη ισχύ του. Ακόμη όμως και αυτή η προσέγγιση (αλλαγή του κριτηρίου βελτιστοποίησης), θα οδηγούσε σε αυξημένο Οριακό Κόστος, δεδομένου ότι το σύστημα και τελικά οι Καταναλωτές, θα επωμίζονταν το επαγόμενο κόστος της πλεονάζουσας ισχύος του Παρόχου, ο οποίος διατηρείται ενεργός και θα έπρεπε να αποζημιωθεί ακόμη και αν η ισχύς του δεν ήταν χρήσιμη για το σύστημα.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι το πρόβλημα βελτιστοποίησης ως προς την απόδοση του βέλτιστου, θα πρέπει ενδεχόμενα, πέρα από τις προβλέψεις για την αγορά ισχύος, να επιβάλλει και επιπλέον δεσμεύσεις, για την συμμετοχή ή όχι, Παρόχων με υψηλά κόστη ενεργοποίησης των μονάδων τους, σταθμίζοντας την επαγόμενη απώλεια (υποβέλτιστο της λύσης) σε σχέση με την απενεργοποίηση μονάδων με υψηλό κόστος ενεργοποίησης.

4.3 Συγκεντρωτικές Μετρικές Επιδόσεις του Μοντέλου για το σενάριο προσομοίωσης

Όπως παρουσιάστηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το μοντέλο προσομοίωσης Market_Model, υπολογίζει και τις συνολικές μετρικές επιδόσεων σε αριθμητική μορφή για την εκκαθάριση της ηλεκτρικής αγοράς. Από την διαδικασία προσομοίωσης, τα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Αριθμητικής προσομοίωσης Ισοζυγίου Ισχύος

KWh_Eur	ConsReqP_MWh	ProvsMaxP_MWh	PRatio_100
0.32144	164.1	218.67	75.047

Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι το μοντέλο επιτυγχάνει Μέση Τιμή Οριακού Κόστους (aveMC) ίση με 0.32144 Eur/KW για τη διάρκεια προσομοίωσης του 24ώρου με βάση το σενάριο. Παρατηρούμε ότι αυτή η τιμή είναι σχετικά υψηλή, και όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, αυτό οφείλεται στα σημαντικά κόστη ενεργοποίησης των παρόχων που συμμετέχουν στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι η διαδικασία οικονομικής εκκαθάρισης του σεναρίου προσομοίωσης, έγινε λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη τιμή του "ακριβότερου" Παρόχου, ο οποίος μετείχε στην διαδικασία εκκαθάρισης σε κάθε χρονικό σημείο προσομοίωσης. Προφανώς η προκύπτουσα Μέση Τιμή Οριακού Κόστους θα είναι χαμηλότερη εφόσον κάθε πάροχος αποζημιωθεί για την ενέργεια πώλησης του, με βάση την τιμή προσφοράς του και όχι με την μέγιστη προσφορά του "ακριβότερου" παρόχου.

Η απαιτούμενη ενέργεια από τους Καταναλωτές για τη συνολική διάρκεια προσομοίωσης του σεναρίου (24 ώρες) ήταν 164.1 MWh ενώ η μέγιστη προσφορά ενέργειας των Παρόχων ήταν 218.67 MWh. Άρα το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας από το grid, ανέρχεται στο 75.047% της παραγωγικής ικανότητας των Παρόχων του συστήματος. Ο τελευταίος δείκτης δείχνει την σταθμιζόμενη επιλογή των Παρόχων σε σχέση με τις απαιτήσεις κατανάλωσης ισχύος του grid.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθεται μία εικόνα συνολικής εκκαθάρισης για τους Παρόχους που μετείχαν στο σενάριο προσομοίωσης. Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι για το σύνολο της ηλεκτρικής κατανάλωσης του grid, οι Πάροχοι αποκόμισαν 53.087 KEur για τις 164.1 MWh ενέργειας που πώλησαν. Επιπλέον παρατίθενται οι απώλειες κέρδους (ζημιές) που υπέστησαν από την αδιάθετη ισχύ τους στο grid, οι οποίες ανέρχονται στο ποσό των 20.777 KEur. Οι απώλειες θα ήταν μεγαλύτερες εφόσον περισσότεροι Πάροχοι ή/και περισσότερη αδιάθετη ισχύς απέμενε σε αυτούς από τις ανάγκες κάλυψης του grid. Επομένως είναι σημαντική η στόχευση και η επιλογή των παρόχων, ειδικότερα σε αυτόνομα grids, αλλά καθίσταται επίσης εμφανές και το πλεονέκτημα που προσφέρεται από ένα ενοποιημένο σύστημα παραγωγής και διανομής ενέργειας, το οποίο είναι χειριζόμενο από το Χρηματιστήριο Ενέργειας, διότι επιτρέπει την διάθεση της αδιάθετης παραγωγικής ικανότητας ισχύος και σε άλλες γεωγραφικά αποκεντρωμένες ηλεκτρικές αγορές. Στον πίνακα επιπλέον παρατίθενται αναλυτικά τα κέρδη και οι απώλειες κερδών ανά πάροχο. Την μεγαλύτερη οικονομική ζημιά έχουν υποστεί οι Πάροχοι#4 και 5, οι οποίοι μετείχαν με ελάχιστο έως και μηδενικό ποσοστό στην κάλυψη των αναγκών της αγοράς.

Πίνακας 13: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Παρόχων στο σενάριο

ProvID	ProvPart_100	ProvProfit_KEur	ProvLoss_KEur
1	33.111	12.088	-0.80875
2	45.668	24.911	-0.37022
3	1.0012	8.4183	-2.9503
4	0.037006	0.07956	-3.3424
5	0	0	-3.4221
6	0.89987	1.7228	-2.2355
7	0.15206	0.58172	-2.7263
8	0.094029	0.13508	-1.0963
9	0.11637	0.15921	-3.0255
10	18.921	4.9911	-0.79978
Tot_Provs	Tot_ProvPart_100	Tot_ProvProfit_KEur	Tot_ProvLoss_KEur
10	100	53.087	-20.777

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθεται η συνολική εκκαθάριση για τους καταναλωτές του grid στο σενάριο. Από τον πίνακα επαληθεύουμε το συνολικό κόστος της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τους Καταναλωτές στο ποσό των 53.087 KEur. Επιπλέον, ο πίνακας παραθέτει και τις υφιστάμενες απώλειες για τους Καταναλωτές με βάση τα επίπεδα προσφορών που αυτοί κατέθεσαν αρχικά για την αγορά της ηλεκτρικής ισχύος τους. Συγκεκριμένα, οι Καταναλωτές του grid έχουν συνολικά υποστεί ζημιά της τάξεως των 34.228 KEur, εξαιτίας της ακριβότερης τιμής προμήθειας ανά μονάδα ηλεκτρικής ισχύος (MC(t) και aveMC), όπως προέκυψε από την διαδικασία βελτιστοποίησης. Στον πίνακα επιπλέον παρατίθενται αναλυτικά τα κέρδη και οι απώλειες ανά καταναλωτή. Ο καταναλωτής με τις υψηλότερες απώλειες είναι ο Καταναλωτής#2, ο οποίος απαιτούσε και τα μεγαλύτερα ποσά ισχύος για την λειτουργία του.

Πίνακας 14: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Καταναλωτών στο σενάριο

ConsID	ConsPWR_MWh	ConsCost_KEur	ConsProfit_Loss_KEur
1	18.603	5.8001	-3.0095
2	81.633	27.821	-19.658
3	33.493	10.587	-6.5677
4	1.175	0.22809	0.0069054
5	3.9055	1.4695	-1.079
6	2.829	0.63313	-0.29365
7	6.7087	1.349	-0.54394
8	8.235	2.6342	-1.646
9	7.522	2.5648	-1.4365
Tot_Cons	Tot_ConsPWR_MWh	Tot_ConsCost_KEur	Tot_ConsProfit_Loss_KEur
9	164.1	53.087	-34.228

4.4 Η επίδραση του τρόπου Εκκαθάρισης της Αγοράς στα κέρδη και τις απώλειες Παρόχων και Καταναλωτών

Στην προηγούμενη φάση της προσομοίωσης για την Ηλεκτρική Αγορά, η εκκαθάριση γινόταν με αποζημίωση των παρόχων στο επίπεδο της μέγιστης προσφοράς από τον "ακριβότερο" πάροχο, ο οποίος μετείχε στην διαδικασία εκκαθάρισης του συγκεκριμένου χρονικού βήματος προσομοίωσης. Αυτός ο κανονισμός αποζημίωσης επάγει ένα σημαντικό κόστος για τους καταναλωτές, αναπροσαρμόζοντας την τιμή αγοράς, σε ένα μέγιστο το οποίο οφείλεται στον μηχανισμό εκκαθάρισης. Στο μοντέλο προσομοίωσης δίνεται η δυνατότητα να προβεί στην εκκαθάριση, αποζημιώνοντας τους παρόχους στην τιμή προσφοράς τους. Σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Αριθμητικής προσομοίωσης Ισοζυγίου Ισχύος

KWh_Eur	ConsReqP_MWh	ProvsMaxP_MWh	PRatio_100
0.11436	164.1	218.67	75.047

Από τον πίνακα συνολικής εκκαθάρισης παρατηρούμε ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις και η προσφορά των επιπέδων ισχύος από τους Παρόχους παραμένει η ίδια, όπως και προηγουμένως. Όμως, η Μέση Οριακή Τιμή του συστήματος έχει μειωθεί στα 0.11436 Eur/KW. Προφανώς η ποσοστιαία βελτίωση είναι σημαντική προς όφελος του καταναλωτή του συστήματος (μείωση της τάξης του 64.42% στην παράμετρο aveMC). Οπότε όπως αναμενόταν, ο κανόνας εκκαθάρισης που επιβάλλει το Χρηματιστήριο Ενέργειας προσαναζάνει κατά σημαντικό ποσοστό την τελική τιμή για την Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος.

Πίνακας 16: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Παρόχων στο σενάριο

ProvID	ProvPart_100	ProvProfit_KEur	ProvLoss_KEur
1	33.111	3.5076	-0.80875
2	45.668	3.752	-0.37022
3	1.0012	7.9729	-2.9503
4	0.037006	0.07956	-3.3424
5	0	0	-3.4221
6	0.89987	0.66012	-2.2355
7	0.15206	0.53157	-2.7263
8	0.094029	0.030985	-1.0963
9	0.11637	0.038314	-3.0255
10	18.921	1.4495	-0.79978
Tot_Provs	Tot_ProvPart_100	Tot_ProvProfit_KEur	Tot_ProvLoss_KEur
10	100	18.023	-20.777

Από τον αναλυτικό πίνακα εκκαθάρισης των Παρόχων του grid, διαπιστώνουμε ότι τα κέρδη των Παρόχων μειώθηκαν από την τιμή 53.087 KEur σε τιμή 18.023 KEur. Η διαφορά του επιπέδου των κερδών των παρόχων αποτελεί το όφελος των Καταναλωτών του

συστήματος. Η μείωση του κέρδους από τον τρόπο εκκαθάρισης αντιστοιχεί σε μείωση της τάξης του 66.05%.

Πίνακας 17: Πίνακας Συνολικής Εκκαθάρισης των Καταναλωτών στο σενάριο

ConsID	ConsPWR_MWh	ConsCost_KEur	ConsProfit_Loss_KEur
1	18.603	2.1223	0.66817
2	81.633	8.9467	-0.78341
3	33.493	3.6783	0.34084
4	1.175	0.162	0.072997
5	3.9055	0.45416	-0.063608
6	2.829	0.26985	0.069629
7	6.7087	0.76047	0.044573
8	8.235	0.8055	0.1827
9	7.522	0.82328	0.30502
Tot_Cons	Tot_ConsPWR_MWh	Tot_ConsCost_KEur	Tot_ConsProfit_Loss_KEur
9	164.1	18.023	0.83692

Από τον πίνακα συνολικής εκκαθάρισης των Καταναλωτών του grid καταλήγουμε σε συνολικό όφελος των καταναλωτών σε τιμή 0.83692 KEur έναντι της απώλειας των 34.228 KEur που οι καταναλωτές υπέστησαν με τον προηγούμενο τρόπο εκκαθάρισης.

Επομένως από το μοντέλο προσομοίωσης καταδεικνύεται ότι οι μέθοδοι οικονομικής εκκαθάρισης των Παρόχων στο Χρηματιστήριο Ενέργειας, είναι σημαντικά υπεύθυνες για τα επίπεδα χρέωσης των Καταναλωτών ενός συστήματος. Επίσης θα πρέπει να τονισθεί ότι οι Πάροχοι με την μείωση των κερδών τους λόγω του διαφορετικού τρόπου εκκαθάρισης, δεν υπέστησαν ζημιές διότι αποζημιώθηκαν στο ποσό το οποίο οι ίδιοι έθεσαν στις αρχικές προσφορές τους προς τον Διαχειριστή του συστήματος.

5

Συμπεράσματα από την προσομοίωση του Μοντέλου

Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας

5.1 Συμπεράσματα από την προσομοίωση του σεναρίου

Η διάσπαση της καθετοποιημένης παραγωγής, επέτρεψε την καταστολή της δράσης των μονοπωλίων στην παραγωγή, διανομή και τιμολόγηση της ενέργειας. Το παραδοσιακό μοντέλο του καθετοποιημένου παρόχου - πωλητή, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για όλες τις διαδικασίες παραγωγής, διανομής, τιμολόγησης αλλά και ευστάθειας του συνολικού ηλεκτρικού συστήματος, αντικαταστάθηκε από ανεξάρτητους φορείς και εταιρείες με καθορισμένες δραστηριότητες και αντικείμενα που αφορούν στις παραπάνω διαδικασίες. Επιπλέον, έδωσε την δυνατότητα για την εμφάνιση αποκλειστικά "καθαρώς" πωλητών και μεταπωλητών (distributors), με στόχο την δημιουργία πολλαπλών επιλογών για τους τελικούς Καταναλωτές.

Η συνολική διασύνδεση όλων των μονάδων παραγωγής, υπερβαίνοντας τα στενά και περιορισμένα όρια μίας γεωγραφικής επικράτειας (κράτους), και η κοινή οικονομική διαχείριση και επιλογή μέσω των Χρηματιστηρίων Ενέργειας (Ευρωπαϊκών και Κρατών μελών), έδωσε επιπλέον την δυνατότητα των επιλογών Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με στόχο την καθολική απελευθέρωση των τοπικών αγορών πέραν των εθνικών ορίων. Η προσέγγιση της διαχείρισης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των χρηματιστηρίων, αποσκοπεί στην γρήγορη διαχείριση (συναλλαγές) και στον δυναμικά μεταβαλλόμενο ρυθμό των τιμών των συναλλαγών, όπως ακριβώς συμβαίνει και στα

υπόλοιπα αγαθά, τα οποία μπορούν να διακινηθούν μέσω των διαδικασιών δημοπρασίας των Αγορών (auctions & bidding).

Μία όμως σημαντική διαφορά, η οποία έχει τονισθεί, είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα "ιδιαίτερο αγαθό", λόγω της ιδιαιτερότητας στις συνθήκες παραγωγής και τις δυσκολίες της αποθήκευσης της, με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες (2024). Επιπλέον, ελλείψεις ηλεκτρικής ενέργειας στα σύγχρονα ηλεκτρικά δίκτυα δεν είναι ανεκτές, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα κοινά αγαθά, δεδομένου ότι όλες οι σύγχρονες υποδομές και λειτουργίες βασίζονται στην χρήση της.

Ακόμη πιο έντονο πρόβλημα δημιουργείται είτε από την περίσσεια είτε την έλλειψη ηλεκτρικής ισχύος, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αποσταθεροποίηση της λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Επομένως, η ηλεκτρική ενέργεια ως "αγαθό" είναι ένα ιδιαίτερου τύπου, που δεν μπορεί να ενταχθεί σε απλές αγοραπωλησίες αγαθών κοινού τύπου (commodities).

Για το λόγο αυτό, συνεπικουρικά με τα Χρηματιστήρια Ηλεκτρικής Ενέργειας, το σύγχρονο πλαίσιο λειτουργίας των ηλεκτρικών δικτύων, διατηρεί τις οντότητες των Διαχειριστών των Συστημάτων (που είναι υπεύθυνοι για την ευστάθεια ενός ηλεκτρικού δικτύου). Το νέο μοντέλο επιπρόσθετα ενίσχυσε τον ρόλο των Ρυθμιστικών Αρχών μέσα από τα νεότερα νομοθετικά πλαίσια. Οι Ρυθμιστικές Αρχές έχουν ενισχυμένες αρμοδιότητες και δραστηριότητες ως προς τις συνθήκες της αγοράς, σχετιζόμενες με την προστασία των Καταναλωτών και τις οδηγίες δράσεως προς τις εμπλεκόμενες οντότητες στο νέο σχήμα της σύγχρονης αγοράς.

Εκάθαρτος στόχος της δημιουργίας των Χρηματιστηρίων Ενέργειας, είναι η απρόσκοπτη και οικονομική πρόσβαση όλων των σύγχρονων οντοτήτων στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, κατά τρόπο που να είναι διαφανής, προσοδοφόρος και άμεσος για όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά (παραγωγοί, διανομείς, πωλητές, μεταπωλητές, καταναλωτές). Οι τύποι των συναλλαγών που προβλέπονται στα σύγχρονα χρηματιστήρια ενέργειας αφορούν σε ημερήσιες, ενδο-ημερήσιες, ή/και σε πιο μακροπρόθεσμες διμερείς συναλλαγές - συμβάσεις.

Κατά συνέπεια, η διασφάλιση των απαιτούμενων επιπέδων ισχύος με βάση τις προβλέψεις λειτουργίας ενός ηλεκτρικού δικτύου (καταναλώσεις), απαιτούν διαρκή συμμετοχή και αγοραπωλησία ποσών ισχύος από τα δίκτυα παραγωγής προς τα δίκτυα διανομής. Αυτό συντελεί κατά κύριο λόγο στην μεταβλητότητα των τιμών της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η παραπάνω μεταβλητότητα, μπορεί να εξαρτηθεί επιπλέον και από άλλους προβλέψιμους και μη προβλέψιμους παράγοντες όπως: καιρικές συνθήκες, πολιτικά - στρατιωτικά γεγονότα, αστοχίες λειτουργίας δικτύων, μεταβλητότητα κατανάλωσης λόγω ιδιαίτερων συνθηκών παραγωγής - κατανάλωσης, κ.λπ.

Το σύνολο των αγοραπωλησιών ποσών ισχύος καταλήγει στον τελικό καταναλωτή, μικρής - μεσαίας - μεγάλης κλίμακας, με βάση τα επίπεδα απαιτήσεων ισχύος του. Ο καταναλωτής στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρείται "απελευθερωμένος" ως προς την επιλογή παρόχου, διασπώντας έτσι τις συνθήκες μονοπωλίου, οι οποίες διαμορφώνονταν στο παρελθόν με τα μοντέλα καθετοποιημένης λειτουργίας των ηλεκτρικών δικτύων. Στη σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ένας καταναλωτής είναι ελεύθερος να επιλέξει τον πάροχο που ικανοποιεί την κάλυψη των αναγκών του στο οικονομικότερο για αυτόν επίπεδο.

Από την άλλη πλευρά όμως, ο τελικός καταναλωτής δεν μπορεί ούτε να επηρεάσει άμεσα τις τιμές των συναλλαγών στα Χρηματιστήρια Ενέργειας (δίνοντας άμεσα σήματα από τις επιλογές του), αλλά ούτε και να επιβάλλει δυναμικά την παρουσία του στις αγορές με συμβόλαιο, τα οποία μπορεί να μεταβάλλονται σε ημερήσια είτε ενδο-ημερήσια βάση, με όρους που θέτει απευθείας ο ίδιος. Για τον λόγο αυτό, παρά την εξέλιξη της σύγχρονης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ο τελικός (μικρός - μεσαίος) καταναλωτής παραμένει σε

χρήση των παραδοσιακών συμβολαίων με τυπική - ορισμένη χρονική διάρκεια (της τάξης κατ' ελάχιστον ενός ή περισσότερων μηνών), αγοράζοντας το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας που τον αφορά σε αυτά τα χρονικά πλαίσια, στην τιμή που συμφωνεί με τον Πάροχο ισχύος και τις Αγορές Ενέργειας.

Η ρευστότητα των συνθηκών της Αγοράς Ενέργειας όμως δίνει την δυνατότητα στους Παρόχους για την επιβολή συμβολαίων πώλησης, τα οποία μπορεί να μεταβάλλουν τις τιμές χρέωσης με βάση τις συνθήκες που οι Πάροχοι αντιμετωπίζουν στα Χρηματιστήρια Ενέργειας.

Τα μεταβλητά αυτά τιμολόγια δεν δίνουν την αίσθηση ασφαλούς συνεργασίας μεταξύ Παρόχου - Καταναλωτή. Τα νομοθετικά πλαίσια στην Ελλάδα (2024) δίνουν την δυνατότητα και για τον καθορισμό σταθερών τιμολογίων πώλησης, τα οποία όμως εμπεριέχουν την επισφάλεια που αντιμετωπίζει ένας Πάροχος στις Αγορές, μετακυλώντας το κόστος και πάλι προς τον τελικό Καταναλωτή. Επομένως η σύγχρονη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, έχει μετατραπεί σε ένα χρηματιστηριακό μεταβλητό πεδίο, το οποίο αφήνει εκτός τον τελικό καταναλωτή, ο οποίος όμως καλείται να αγοράσει την απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του σε διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο βασισμένο στο περιβάλλον προσομοίωσης Matlab ®. Το μοντέλο αποσκοπεί, με χρήση καθορισμένων παραμέτρων από τους Παρόχους Ενέργειας που αφορούν στην παραγωγική ικανότητα ισχύος τους στο χρόνο, το κόστος ενεργοποίησης των μονάδων τους καθώς και την τιμή τιμολόγησης μίας μονάδας ισχύος (KW), να επιτύχει κατά βέλτιστο τρόπο την κάλυψη της απαιτούμενης ισχύος για το σύνολο των καταναλωτών ενός δικτύου. Οι καταναλωτές προδιαγράφουν τις απαιτήσεις ισχύος τους στο χρόνο καθώς και τα επιθυμητά πλαίσια τιμής στην οποία προτίθενται να την αποκτήσουν για την κάλυψη των αναγκών τους.

Η διατύπωση του παραπάνω μαθηματικού προβλήματος οδηγεί σαφώς σε ένα πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης, το οποίο αναζητά το ελάχιστο κόστος για την κάλυψη των δεσμεύσεων του προβλήματος. Για την επίλυση του μπορεί να γίνει χρήση των τεχνικών κυρτής και μη κυρτής ανάλυσης (θεωρώντας την επιλογή ή την απόρριψη ενός Παρόχου για την βέλτιστη επίλυση του). Επομένως, το μη κυρτό πρόβλημα μπορεί να προκύψει από την συμπερίληψη ή την απόρριψη ενός Παρόχου με στόχο την βελτιστοποίηση ως προς το επαγόμενο κόστος για την συνολική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της αγοράς.

Το περιβάλλον προσομοίωσης έδωσε την δυνατότητα του καθορισμού των παραμέτρων για τις ομάδες των Παρόχων και των Καταναλωτών ενός συστήματος, με δυναμική συμπεριφορά, επιτρέποντας προσομοίωση σε χρονική έκταση ενός καθορισμένου σεναρίου, όπου ο χρήστης του περιβάλλοντος ρυθμίζει τα χρονικά βήματα και την διάρκεια της προσομοίωσης.

Τα δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση στην εργασία, ήταν πραγματικά [26] και έκαναν χρήση όλων των επιπέδων Παρόχων και Καταναλωτών με κλιμάκωση ως προς τις τεχνολογίες και τα επίπεδα παραγωγής - κατανάλωσης.

Για την ανάλυση της συμπεριφοράς της Αγοράς, το περιβάλλον προσομοίωσης έκανε χρήση αριθμητικών και γραφικών αναπαραστάσεων των μετρικών ποιότητας - επιδόσεως. Η σημαντικότερη από τις μετρικές επιδόσεως κατά την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, ήταν η Οριακή Τιμή Συστήματος (MC). Η οριακή τιμή συστήματος αποτελεί την καθοριζόμενη δυναμικά μεταβαλλόμενη τιμή αγοράς μίας μονάδας ισχύος (1 KW), κατά την εκκαθάριση και επιλογή των βέλτιστων λύσεων σε κάθε βήμα της χρονικής προσομοίωσης. Με καθορισμένη την οριακή τιμή συστήματος για κάθε χρονικό σημείο, το περιβάλλον μπορεί να υπολογίσει το όφελος και τις ζημιές για τους Παρόχους και τους Καταναλωτές του δικτύου. Η διαδικασία προσομοίωσης αφορούσε σε μία τυπική χειμερινή

ημέρα (δεδομένα 10ης Δεκεμβρίου 2024), όπου προφανώς οι απαιτήσεις ισχύος από πλευράς καταναλωτών είναι αυξημένες λόγω των χειμερινών συνθηκών.

Από την διαδικασία της προσομοίωσης του grid που περιγράφηκε, εξήχθηκαν συμπεράσματα για μία πληθώρα θεμάτων, όπως:

- Διακύμανση Οριακής Τιμής Συστήματος
- Κόστος Ενεργοποίησης Μονάδων παραγωγής
- Κέρδος των Παρόχων
- Απώλειες των Παρόχων
- Κέρδος - απώλειες Καταναλωτών
- Μέθοδοι εκκαθάρισης της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην συνέχεια αναλύονται τα συμπεράσματα που αποκομίσθηκαν στα παραπάνω θέματα.

5.1.1 Διακύμανση Οριακής Τιμής Συστήματος

Από την διαδικασία προσομοίωσης για το σενάριο, παρατηρούμε την έντονη διακύμανση της οριακής τιμής κόστους του συστήματος. Η διακύμανση οφείλεται στην ενσωμάτωση διαφορετικών επιπέδων χρέωσης από τους Παρόχους που ενεργοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών του grid, στο δεδομένο χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Στην διακύμανση συνεισφέρει σημαντικά και το αρχικό κόστος ενεργοποίησης των μονάδων του κάθε Παρόχου. Το κόστος ενεργοποίησης των μονάδων ενός Παρόχου, αναφέρεται στο ελάχιστο ποσό που πρέπει να καταβληθεί έτσι ώστε ο Πάροχος να διασφαλίσει την άμεση διαθεσιμότητα και λειτουργικότητα των μονάδων παραγωγής του, για την τήρηση των κανόνων παροχής ισχύος με βάση το συμβόλαιο δέσμευσης του με το Χρηματιστήριο Ενέργειας. Τα κόστη ενεργοποίησης είναι διαφορετικά ανάλογα με τις τεχνολογίες παραγωγής. Οι παραγωγοί που βασίζονται σε Α.Π.Ε. έχουν τα χαμηλότερα κόστη ενεργοποίησης (σχεδόν μηδενικά), ενώ οι παραγωγοί που βασίζονται σε καύση ορυκτών καυσίμων εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές. Ειδικότερα η επιβολή δασμών και προστίμων για καύσιμα που επιβαρύνουν το περιβάλλον (π.χ. λιγνίτης) με αέριους ρύπους, επιφέρει και μεγαλύτερες τιμές αρχικού κόστους. Η ετερογενής συμπερίληψη λοιπόν, παρόχων διαφορετικών τεχνολογιών, έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή σημαντικού τμήματος κόστους στην οριακή τιμή του συστήματος.

Η διακύμανση της οριακής τιμής κόστους του συστήματος προφανώς επιφέρει σημαντική επιβάρυνση και στην Μέση Οριακή Τιμή Κόστους, στην οποία βασίζεται η τελική τιμολόγηση των Καταναλωτών του συστήματος. Η Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος υπολογίζεται από το σύνολο της ενέργειας που αγοράστηκε σε ολόκληρη τη διάρκεια του σεναρίου από τους Παρόχους στο εκκαθαριζόμενο συνολικό κόστος αγοράς της.

5.1.2 Κόστος Ενεργοποίησης Μονάδων Παραγωγής

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, για την διακύμανση του οριακού κόστους, η ενεργοποίηση των μονάδων των παραγωγών επιφέρει σημαντική επιβάρυνση με βάση τα κόστη ενεργοποίησης και διατήρησης της ενεργότητας των μονάδων τους. Η διαδικασία ενεργοποίησης ενός Παρόχου, επάγει το κόστος κατά την διαδικασία ενεργοποίησης των μονάδων του, αρχικά στο σενάριο προσομοίωσης. Όταν ο Διαχειριστής του Συστήματος ενεργοποιεί με βάση το πρόβλημα βελτιστοποίησης έναν πάροχο, ο οποίος απενεργοποιείται στο επόμενο χρονικό βήμα της προσομοίωσης, εφόσον η συνάρτηση

κόστους απορρίπτει την επιλογή του στη συνέχεια, τότε ο Πάροχος τίθεται ανενεργός για το τρέχον διάστημα συναλλαγών. Σε επόμενη όμως φάση, οπότε απαιτείται εκ νέου ενεργοποίηση του, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισάγει ξανά τα κόστη ενεργοποίησης του τελευταίου, επιβαρύνοντας σημαντικά την οριακή τιμή του συστήματος.

Επομένως διαφαίνεται ότι, παραγωγοί με μονάδες που εισάγουν σημαντικό κόστος ενεργοποίησης, ίσως είναι προτιμότερο να μην ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται σε σύντομα διαδοχικά χρονικά διαστήματα. Αυτό γίνεται ακόμη πιο σημαντικό όταν η παραγωγική τους ικανότητα είναι βαρύνουσα και σημαντική για το ηλεκτρικό δίκτυο.

Διατηρώντας όμως έναν Πάροχο με αυξημένα κόστη ενεργοποίησης σε ενεργή κατάσταση, απομακρύνει την επίδραση του κόστους ενεργοποίησης, επιβαρύνοντας όμως το σύστημα με τα κόστη αποζημίωσης της παραγόμενης ισχύος του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγόμενη ισχύς σε αυτήν την φάση, μπορεί να κρίνεται ανεπιθύμητη για το δίκτυο (περίσσεια ισχύος). Η περίσσεια αυτής της ισχύος δεν θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες κάλυψης του grid, αλλά προφανώς ο Πάροχος που την παράγει θα πρέπει να αποζημιωθεί για αυτήν την ποσότητα ενέργειας, επιβαρύνοντας με αυτήν το κόστος της οριακής τιμής του συστήματος.

Άρα στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας θα πρέπει να σταθμιστεί το αρχικό κόστος ενεργοποίησης ενός Παρόχου και η παραγωγική ικανότητα ενέργειας του για ενδεχόμενη δυναμική επιλογή του στο πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Η επίδραση του χρονικού βήματος της προσομοίωσης μπορεί επίσης να επιδράσει σημαντικά τόσο στην απομείωση του κόστους ενεργοποίησης όσο και στην περίσσεια ισχύος προς αποζημίωση. Άρα θα πρέπει να σταθμιστεί κατάλληλα το κόστος ενεργοποίησης σε συνδυασμό με το χρονικό ορίζονται του προβλήματος βελτιστοποίησης.

5.1.3 Κέρδος των Παρόχων

Το κέρδος (όφελος) των Παρόχων αποτελείται από τα τμήματα αποζημίωσης για τα κόστη ενεργοποίησης τους αλλά και από το ποσό της απορροφώμενης από αυτούς ισχύος προς την αγορά. Η τιμή για την αποζημίωση από την αγορά ισχύος με βάση τον ισχύοντα κανονισμό των χρηματιστηρίων ενέργειας, καθορίζεται στην μέγιστη τιμή προσφοράς του "ακριβότερου" παρόχου που εισήχθη για την κάλυψη των αναγκών του grid, στη δεδομένη χρονική περίοδο βελτιστοποίησης.

Προφανώς ο στόχος ενός Παρόχου αλλά και οποιασδήποτε οντότητας που συμμετέχει στη σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είναι να αποκομίσει το μεγαλύτερο δυνατόν οικονομικό όφελος από την πώληση της ισχύος του προς το δίκτυο. Κατά συνέπεια, η μέθοδος τιμολόγησης που βασίζεται στο προηγούμενο κριτήριο, συμφέρει από οικονομικής πλευράς έναν πάροχο που μετέχει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με ενεργό συμβόλαιο πώλησης ισχύος. Από την άλλη πλευρά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι το αποκομιζόμενο όφελος του παρόχου αποτελεί το επαγόμενο κόστος για τους καταναλωτές του ηλεκτρικού δικτύου.

Τα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι δίκαιο να αφορούν σε ελαχιστοποίηση του κόστους των Καταναλωτών, με στόχο την προσφορά όσο το δυνατόν χαμηλότερης τιμής για κάθε μονάδα ισχύος που ο καταναλωτής προμηθεύεται από το δίκτυο. Η προσφορά τιμών ενός Παρόχου αποτελεί ένα σημαντικό θέμα προς καθορισμό και θα πρέπει να βασίζεται στις τεχνολογίες παραγωγής που χρησιμοποιούνται καθώς και σε τεχνικά και οικονομικά θέματα που αφορούν την επένδυση κατασκευής των μονάδων παραγωγής τους, την απόσβεση του απαιτούμενου κεφαλαίου, το ποσοστό κέρδους που θα πρέπει να επιτρέπεται, τα έξοδα συντήρησης των μονάδων τους, κ.λπ. Προφανώς, οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει να εξακριβωθούν και να τεθούν με ακρίβεια εξ' αρχής και πριν την προσφορά ενός παρόχου σε

μία Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ένας καταναλωτής δεν γνωρίζει ούτε μπορεί να έχει ρόλο πρόσβασης και καθορισμού σε αυτές τις πληροφορίες που αφορούν σε έναν Πάροχο.

5.1.4 Απώλειες των Παρόχων

Οι απώλειες των Παρόχων οφείλονται σε δύο παράγοντες: (α) στην ενδεχόμενη μη επιλεξιμότητα ενός παρόχου στο πρόβλημα βελτιστοποίησης και (β) στην αδιάθετη ισχύ που απομένει σε έναν πάροχο σε ενδεχόμενη μερική συμμετοχή του στο πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Όσον αφορά στον πρώτο λόγο, η μη επιλεξιμότητα ενός παρόχου μπορεί να οφείλεται στην υψηλή τιμή προσφοράς του (κόστος ενεργοποίησης + τιμή μονάδας ισχύος), έναντι άλλων ανταγωνιστικότερων παρόχων που συμμετέχουν την ίδια χρονική περίοδο στην αγορά. Εφόσον αυτοί οι παράγοντες είναι καθοριστικοί για τον αποκλεισμό του από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης τείνει διαρκώς να αποκλείει την συμμετοχή του από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εκτός από την περίπτωση όπου δεν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός δικτύου.

Από την πλευρά του παρόχου, τα κόστη ενεργοποίησης και αποτίμησης της μονάδας ισχύος προς πώληση, εφόσον η κοστολόγηση τους γίνεται με δίκαιο και διαφανή τρόπο προς την αγορά, είναι ανελαστικά. Ένας πάροχος με μονάδες παραγωγής καύσης ορυκτών καυσίμων και θερμοηλεκτρικές μονάδες πρέπει να διατηρεί αυτές σε ετοιμότητα πριν την ένταξη τους για παραγωγή ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Επομένως, τα κόστη του είναι ανελαστικά και προφανώς είναι άδικο να συγκρίνονται με κόστη άλλων τεχνολογιών παραγωγής.

Το συγκεκριμένο θέμα αποτέλεσε και αντικείμενο εκτενούς συζήτησης ως προς την ικανότητα εισροής και επικράτησης των μονάδων Α.Π.Ε. έναντι άλλων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η ανάπτυξη μονάδων παραγωγής με βάση τις Α.Π.Ε. τεχνολογίες, επιπρόσθετα επιχορηγήθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια από τις κυβερνήσεις σε πολλές χώρες διεθνώς, οδηγώντας σε αποκλεισμό άλλες τεχνολογίες παραγωγής οι οποίες με τον τρόπο αυτό καταλήγουν μη ανταγωνιστικές (π.χ. υδροηλεκτρικές, πυρηνικές, κ.α.).

Ο δεύτερος λόγος απωλειών, δηλαδή της αδιάθετης ισχύος ενός παραγωγού, οφείλεται στην στάθμιση των απαιτήσεων ενός δικτύου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του. Στο πρόβλημα βελτιστοποίησης, επιλέγεται η αγορά ποσού ισχύος που απαιτείται από την συνάρτηση κόστους για την κάλυψη των αναγκών και όχι για το σύνολο ενδεχόμενα της παραγωγικής ικανότητας ενός Παρόχου.

Ένας πάροχος μπορεί να προστατευτεί από τις απώλειες που αφορούν στην αδιάθετη ισχύ του, δίνοντας προσφορά προς τον Διαχειριστή του Συστήματος, η οποία θα περιλαμβάνει μικρό διάστημα διακύμανσης ισχύος, δηλαδή το άνω και κάτω όριο παραγωγής του να είναι σχετικά σε μικρή διακύμανση (πλαφόν). Στην περίπτωση που ένας πάροχος διαθέτει μία παραγωγική ικανότητα μπορεί να δώσει προσφορά προς τον Διαχειριστή ενός συστήματος με διάστημα ανοχής προς πώληση της τάξης του 80 - 90% της παραγωγικής του ικανότητας, χωρίς να αφήνει ελεύθερο προς διαπραγμάτευση μεγάλο εύρος ισχύος προς διάθεση στον Διαχειριστή. Εναλλακτικά είναι δυνατή η διαμόρφωση πολλών προσφορών με διαφορετικά επίπεδα ισχύος προς πώληση σε ένα δίκτυο, διατηρώντας την ικανότητα του για παραγωγή και πώληση των υπολοίπων του, σε άλλες ηλεκτρικές αγορές. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να συμβάλλει σε σημαντική μείωση των διαθέσιμων ποσών ισχύος ενός Παρόχου, μεγιστοποιώντας το αποκομιζόμενο κέρδος από την συνεχή λειτουργία των μονάδων του.

5.1.5 Κέρδος - Απώλειες των Καταναλωτών

Τα κέρδη καθώς και οι απώλειες των καταναλωτών του συστήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τους μηχανισμούς διαμόρφωσης της μέσης οριακής τιμής κόστους για ένα grid. Η αγορά ισχύος από το ηλεκτρικό δίκτυο βασίζεται μεσοσταθμικά στην Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος που επιτυγχάνεται από την συμμετοχή των Παρόχων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Το θέμα αυτό γίνεται εντονότερο όταν και ο ίδιος ο Πάροχος λειτουργεί ως αγοραστής ενέργειας από την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας. Προφανώς αυτό γίνεται πολύ σημαντικό για οντότητες όπως οι πωλητές και μεταπωλητές ισχύος που προβλέπονται στο νέο σχήμα λειτουργίας της αγοράς.

Ένας καταναλωτής δεν έχει την αμεσότητα παρέμβασης σε ένα χρηματιστήριο ενέργειας ως προς την διαμόρφωση των τιμών αγοραπωλησίας. Ο καταναλωτής μπορεί να αιτείται μόνο το ποσό ισχύος που επιθυμεί για την κάλυψη των φορτίων του εφόσον είναι μεγάλης κλίμακας, ενώ για τους καταναλωτές μεσαίας και μικρότερης κλίμακας οι καταναλώσεις βασίζονται σε μοντέλα πρόβλεψης.

Το κόστος που επάγεται προκύπτει μετά τους υπολογισμούς από τους μηχανισμούς εκκαθάρισης της αγοράς από πλευράς των παρόχων. Επομένως ο καταναλωτής δεν διαμορφώνει τις τιμές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά συνέπεια το κέρδος ή η απώλεια είναι σχετική ως προς το επιθυμητό οικονομικό επίπεδο που θεωρεί δίκαιο να πληρώσει για την αγορά κάθε μονάδας ισχύος από το δίκτυο. Προφανώς μία ρεαλιστική προσέγγιση ως προς τις τιμές που απαιτεί ένας καταναλωτής από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσουν μία "αίσθηση κέρδους" για τον καταναλωτή.

Η σύγκριση τιμών για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας σε παρελθοντικά χρονικά διαστήματα, επίσης δίνει την "αίσθηση κέρδους" ή απώλειας για έναν καταναλωτή παρατηρώντας την διακύμανση των τελικών τιμών προς αυτόν.

5.1.6 Μέθοδοι Εκκαθάρισης της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Όπως τονίστηκε και στις προηγούμενες ενότητες της εργασίας, ο μηχανισμός εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην μέγιστη τιμή προσφοράς του "ακριβότερου" παρόχου που μετείχε στο δεδομένο βήμα της προσομοίωσης. Αυτό προσανξάνει σημαντικά το μέσο οριακό κόστος για τους καταναλωτές του δικτύου, διασφαλίζοντας σημαντικά κέρδη για παρόχους ακόμη και με χαμηλή τιμή χρέωσης ανά μονάδα ισχύος, όπως αποδείχθηκε και από την προσομοίωση του σεναρίου. Η προσομοίωση αποδεικνύει επίσης, ότι στην περίπτωση που ο μηχανισμός εκκαθάρισης βασιστεί στην καθορισμένη τιμή προσφοράς κάθε παρόχου, τότε προκύπτει σημαντική μείωση του μέσου οριακού κόστους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση του κόστους αγοράς ενέργειας από πλευράς καταναλωτών, δημιουργώντας την "αίσθηση κέρδους" σε αυτούς.

Από την άλλη πλευρά, η αποζημίωση των παρόχων με βάση την καθορισμένη προσφορά τους δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα απώλειας κέρδους για τους τελευταίους (!), δεδομένου ότι τηρείται η τιμή συμβολαίου που είχε προ συμφωνηθεί πριν την έναρξη της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Η παραπάνω παρατήρηση αποτελεί και ένα σημαντικό μηχανισμό για την απομείωση της χρέωσης που δημιουργείται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, αναγκάζει τους Παρόχους Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ακριβή στάθμιση των προσφερόμενων τιμών στα συμβόλαια τους.

5.2 Γενικά Συμπεράσματα για τις Σύγχρονες Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στοχεύουν στην διάσπαση των μονοπωλίων καθετοποιημένης παραγωγής, διανομής και τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Η επικράτηση τους, προέκυψε από την νομοθετική εφαρμογή ρυθμίσεων που εξανάγκασε, σχεδόν σε όλες τις χώρες (Ευρώπη), τους μονοπωλιακούς παρόχους σε σταδιακή αποχώρηση από τις αγορές ενέργειας, αφήνοντας χώρο με νομοθετική παρέμβαση για τους ιδιώτες που εισήλθαν στους τομείς παραγωγής, διανομής και τιμολόγησης.

Η ιδέα των χρηματιστηρίων ενέργειας, εισήχθη με την λογική της "γρήγορης διαπραγμάτευσης" των τιμών για την αγοραπωλησία της ηλεκτρικής ενέργειας από πολλές και εναλλακτικές πηγές, όπως ανάλογα συμβαίνει για όλα τα υπόλοιπα χρηματιστηριακά συναλλασσόμενα αγαθά. Όμως, η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα αναφαίρετο αγαθό στον σύγχρονο κόσμο, το οποίο δυστυχώς δεν επιδέχεται ικανοποιητική ικανότητα αποθήκευσης, έτσι ώστε να διασφαλιστεί επάρκεια του σε περιόδους ανάγκης χρήσης του. Αυτό αποτελεί και την σημαντικότερη διαφορά της ηλεκτρικής ενέργειας ως "αγαθό" προς αγοραπωλησία σε σχέση με τα υπόλοιπα εμπορεύσιμα αγαθά.

Στόχος του σύγχρονου σχήματος είναι η διαμόρφωση χαμηλότερων τιμών και ελευθερίας επιλογών του καταναλωτή, επιτρέποντας σε αυτόν να κινηθεί προς παρόχους που διασφαλίζουν χαμηλότερη χρέωση. Στην πράξη (2024), με βάση την εξάρτηση για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτούς πόρους (ορυκτά καύσιμα), αποδεικνύεται η έλλειψη της ικανότητας των χρηματιστηρίων να διαχειριστούν το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ανεπάρκειας στην διαχείριση των πόρων παραγωγής της. Αυτό καταλήγει σε αυξημένες τελικές τιμές προς τον καταναλωτή (2020 - 2024). Τα χρηματιστήρια ενέργειας, δεδομένου του ελεύθερου διαχείρισης της αγοράς, αδυνατούν να συγκρατήσουν τις τιμές από τις προσφορές των παρόχων, αφήνοντας τους καταναλωτές αφενώς ελεύθερους ως προς την επιλογή παρόχου αλλά αφετέρου χωρίς διέξοδο ως προς το κόστος για την παρεχόμενη ενέργεια σε αυτούς. Οι παρεμβάσεις για έλεγχο των τιμών των Παρόχων σε συνδυασμό με πρόσθετη επιβάρυνση τους, με τη μορφή "έκτακτης φορολόγησης υπερκερδών", προφανώς δεν επιλύει το πρόβλημα, εφόσον δεχθούμε ότι οι Πάροχοι πρέπει να παρουσιάζουν νόμιμο κέρδος το οποίο είναι συνάρτηση του κόστους παραγωγής τους, όπως διαμορφώνεται σε μία "ελεύθερη" αγορά.

Η λύση της φθηνής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. λόγω της στοχαστικότητας στην παραγωγή τους, αδυνατεί να διασφαλίσει σταθερότητα για την λειτουργία των ηλεκτρικών δικτύων, δεδομένου ότι η περίσσεια ενέργειας που διοχετεύουν στο σύστημα δεν είναι δυνατόν να αποθηκευτεί, οπότε θα πρέπει να καταναλωθεί. Κατά συνέπεια, οι μονάδες παλαιότερης τεχνολογίας (θερμοηλεκτρικές, πυρηνικές, υδροηλεκτρικά εργοστάσια, κ.λπ.) αποτελούν συστήματα τα οποία θα πρέπει να μπορούν να δράσουν συνεπικουρικά με τις νέες τεχνολογίες των Α.Π.Ε. για την αντιμετώπιση του ανεξέλεγκτου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μηχανισμοί εκκαθάρισης της αγοράς ακόμη και όταν η επιλογή των παρόχων γίνεται με βέλτιστο τρόπο, όπως στο μοντέλο προσομοίωσης, προσαυξάνουν την τελική τιμή για το μέσο οριακό κόστος. Επομένως για τον έλεγχο των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας, θα πρέπει να γίνουν σημαντικά βήματα καθορισμού και παρέμβασης στους παρακάτω τομείς:

Συνδυασμός Α.Π.Ε. και άλλων δομών παραδοσιακής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα πρώτο σημαντικό βήμα αποτελεί η υποστήριξη των Α.Π.Ε. από τις

παραδοσιακές μονάδες με σημαντική παραγωγική ικανότητα. Η υπερ-παραγωγή των Α.Π.Ε. υπό ευνοϊκές συνθήκες δεν συμβάλλει πάντοτε θετικά στην ευστάθεια λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Η επιδότηση για την επικράτηση τους, λειτουργεί ανταγωνιστικά και ανασταλτικά για επενδύσεις κλίμακας στις υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής με απώτερη κατάληξη τον εκτοπισμό τους ή/και την απομείωση των αποδόσεων τους.

Οι Α.Π.Ε. θα πρέπει να αποτελέσουν παραγωγική βάση με στόχο τους μηχανισμούς αποθήκευσης ενέργειας και ίσως όχι για απευθείας κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός ηλεκτρικού δικτύου. Η έννοια της αποθήκευσης μπορεί να μην αναφέρεται αμιγώς σε ηλεκτρική αποθήκευση (συστοιχίες συσσωρευτών), αλλά σε αποθήκευση υπό άλλη μορφή ενέργειας, η οποία μπορεί να καταστήσει ανακτήσιμη την ηλεκτρική ενέργεια. π.χ. πλήρωση δεξαμενών νερού για υποστήριξη υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (με ενέργεια για τις αντλίες από τις Α.Π.Ε.). Αυτή η προσέγγιση θα αποσυμφορήσει ένα ηλεκτρικό δίκτυο από περίσσεια ισχύος (peaks) σε χρονικά διαστήματα που δεν χρειάζεται την παραγόμενη ισχύ.

Καθορισμός κόστους παραγωγής ανά τεχνολογία. Ο καθορισμός της τιμής παραγωγής και κόστους ανά τεχνολογία παραγωγής είναι επιβεβλημένος, έτσι ώστε να μπορεί να κατατάξει τους παρόχους σε ομάδες με βάση τις τεχνολογίες παραγωγής που χρησιμοποιούν και κατά συνέπεια τις οικονομικές τους απαιτήσεις. Αυτό θα καθορίσει τα ανώτατα όρια κέρδους τους, συμβάλλοντας σε απομείωση των τιμών προς τον τελικό καταναλωτή. Επιπλέον, θα δώσει την δυνατότητα στα χρηματιστήρια ενέργειας ως προς την ομαδοποίηση των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε κλάσεις τεχνολογίας και επιπέδων παραγωγής.

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης και επιλογής παρόχων δεν θα αφορούν συλλογικά σε μία ομάδα παρόχων ετερογενών τεχνολογιών και παραγωγικής ικανότητας, αλλά σε "ομοειδείς" παρόχους που βασίζονται στην ίδια τεχνολογία παραγωγής και μπορούν να παράγουν συγκρίσιμα επίπεδα ισχύος. Η βελτιστοποίηση επιλογής παρόχων θα μπορούσε κατά τον τρόπο αυτό να γίνεται σε κλίμακες παραγωγικής ικανότητας και στην συνέχεια μία δεύτερη βελτιστοποίηση θα διασφάλιζε τα χαμηλότερα επίπεδα της αγοράς. Αυτή η προσέγγιση θα συμβάλλει στην απομείωση του μέσου οριακού κόστους προς τον τελικό καταναλωτή και θα ελέγξει τις τιμές προσφοράς στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Αδιαφανείς Συνεργασίες μεταξύ των Παρόχων. Σημαντική προσπάθεια θα πρέπει να καταβληθεί επίσης, για τον έλεγχο της συνεργασίας μεταξύ των παρόχων που συμπλέκονται στο κοινό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Είναι προφανές ότι κανένα μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης δεν είναι δυνατόν να διαπιστώσει μία ενδεχόμενη θεμιτή ή αθέμιτη συνεργασία (trust) μεταξύ παρόχων, βασιζόμενο στα στοιχεία που οι ίδιοι οι πάροχοι δηλώνουν ως προς την παραγωγική τους ικανότητα.

Η σκόπιμη απομείωση της παραγωγικής ικανότητας ενός παρόχου, αυτόματα δημιουργεί έλλειμμα ισχύος στην αγορά που πρέπει να καλυφθεί από εναλλακτικούς παρόχους. Έτσι δημιουργείται ένα "παίγνιο συνεργασιών", το οποίο κανένας μαθηματικός μηχανισμός και αλγόριθμος δεν μπορεί να ελέγξει και πολύ περισσότερο να βελτιστοποιήσει, συμβάλλοντας σε αύξηση και κλιμάκωση του οριακού κόστους της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο έλεγχος της παραγωγικής ικανότητας των παρόχων θα πρέπει να διασφαλίζει ότι αυτοί συμβάλλουν κατά βέλτιστο τρόπο ως προς την παραγωγική τους ικανότητα στην αγορά χωρίς να απομειώνουν αυτήν για ίδιον ή όφελος τρίτων. Στο σημείο αυτό συμβάλλει τα μέγιστα και ο μηχανισμός εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που βασίζεται στην υψηλότερη προσφορά του παρόχου που παρείχε ισχύ στο δεδομένο χρονικό διάστημα.

Σαφής διαφοροποίηση Παρόχων και Πωλητών - Μεταπωλητών στις αγορές. Στα μοντέλα βελτιστοποίησης ο ρόλος της έννοιας του Παρόχου και του Μεταπωλητή ή Καταναλωτή, θα πρέπει να είναι σαφώς διαχωρίσιμος. Ένας πάροχος ο οποίος δραστηριοποιείται ως πωλητής σε λιανικό επίπεδο, ο οποίος για τις διαρκείς ανάγκες αύξησης της αγοράς των πελατών του (με επαφή στην λιανική αγορά), προσανξάνει την παρουσία του στον χώρο της αγοράς πέραν των παραγωγικών ικανοτήτων του. Ο Πάροχος αυτός προφανώς θα πρέπει να αγοράσει ηλεκτρική ενέργεια και ο ίδιος από τις Αγορές (ως καταναλωτής αυτή τη φορά). Κατά συνέπεια σε κάποιες φάσεις λειτουργίας του εμφανίζεται ως Πάροχος ενώ σε άλλες φάσεις, για την κάλυψη των αναγκών του, λειτουργεί και ο ίδιος ως Καταναλωτής. Αυτό μπορεί να καλύπτεται στις προσφορές που δίνει στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας ως "μίγμα" ποσοστού παραγόμενης και χρέωσης από την αγορά. Η εξακρίβωση των ποσοστών καθαρής αγοράς ή πώλησης μπορεί να γίνει ακόμη πιο δύσκολη όταν κρύβεται από "μίγμα" τεχνολογιών παραγωγής. Επομένως η έννοια του αποκομιζόμενου κέρδους ενός Παρόχου υποκρύπτει μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς ως Καταναλωτής, καθιστώντας δυσχερή την αποτίμηση του κόστους λειτουργίας του.

Είναι λογικό ότι στην προσπάθεια αποκόμισης ακόμη και εύλογου κέρδους, ένας τέτοιος Πάροχος θα προσανξήσει τις τιμές του μέσω του μίγματος των ποσών ισχύος που παρήγαγε και αγόρασε.

Ακρίβεια των μοντέλων πρόβλεψης κατανάλωσης. Η ακρίβεια των μοντέλων πρόβλεψης για την κατανάλωση ενέργειας είναι ένας επίσης σημαντικός τομέας έρευνας, στον οποίο οι σύγχρονες αγορές θα πρέπει να επενδύσουν. Όσο πιο ακριβής μία πρόβλεψη τόσο μικρότερη η ασάφεια που δημιουργείται ως προς τις πιθανές απαιτήσεις ισχύος ενός ηλεκτρικού δικτύου. Το τελευταίο διευκολύνει τον ρόλο του Διαχειριστή Συστήματος (Α.Δ.Μ.Η.Ε.) ως προς την διασφάλιση της ηλεκτρικής ευστάθειας του δικτύου. Ο ρόλος του Διαχειριστή Συστήματος στη σύγχρονη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι εντελώς διαφορετικός από τον ρόλο των Παρόχων και των Καταναλωτών. **Ο Διαχειριστής Συστήματος θα πρέπει να διασφαλίσει την ευστάθεια λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου χωρίς να λάβει υπόψη του κόστη αγοράς και πώλησης της ενέργειας από τις αγορές.** Αν απαιτείται, με βάση την πρόβλεψη αγοράς ισχύος από τον Διαχειριστή Συστήματος, η αγορά ισχύος επειδή θέτει θέμα ευστάθειας θα επιβληθεί, ανεξαρτήτως του απαιτούμενου κόστους απόκτησης της. Επομένως, η εισαγωγή παρόχων σε ένα σύστημα προς εφεδρεία επάγει σημαντικά κόστη τα οποία αποζημιώνονται στην τελική φάση από τους καταναλωτές. Έτσι ακόμη και αν ο ρόλος του Διαχειριστή Συστήματος είναι εντελώς διαφορετικός από την έννοια του παραγωγού και του πελάτη (δηλαδή δεν στοχεύει σε ίδιον οικονομικό όφελος), συνεισφέρει ως "επιπρόσθετος ανελαστικός πελάτης" που δεν επιδέχεται βελτιστοποίησης, στην αύξηση του οριακού κόστους λειτουργίας ενός δικτύου.

Ο ρόλος των μεταπωλητών στη σύγχρονη αγορά. Από την ανάλυση της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ο ρόλος των μεταπωλητών ενέργειας καθίσταται ιδιαίτερα δυσχερής, δεδομένου ότι οι μεταπωλητές δεν αποτελούν οι ίδιοι παραγωγούς ενέργειας. Επομένως, οι μεταπωλητές για να μπορούν να λειτουργήσουν επικερδώς, θα πρέπει να προβλέπουν τόσο τις τιμές της αγοράς ενέργειας όσο και την ενδεχόμενη ζήτηση από πλευράς των καταναλωτών του δικτύου. Με βάση τις υφιστάμενες συνθήκες λειτουργίας της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, αυτό καθίσταται αδύνατο, οδηγώντας σε αυξημένες τιμές προς τον τελικό Καταναλωτή. Πιο έντονο γίνεται το πρόβλημα όταν ο ρόλος του μεταπωλητή δεν είναι ξεκάθαρος ως προς τους καταναλωτές, οι οποίοι λανθασμένα μπορεί να πιστεύουν ότι απευθύνονται σε Πάροχο - Παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας.

5.3 Προτάσεις Επέκτασης του Μοντέλου Προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης αποτελούν μία σημαντική βάση για την ανίχνευση της συμπεριφοράς και των λειτουργιών ενός πραγματικού συστήματος με τη χρήση των ΗΥ. Η επικράτηση τους είναι άρρηκτα συνυφασμένη με την καθολική εισαγωγή των τεχνολογιών δικτύων και ΗΥ.

Το μοντέλο βελτιστοποίησης για την εκκαθάριση μίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την πειραματική επαλήθευση των διαδικασιών και ενεργειών που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα πραγματικό σύστημα.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την παρούσα εργασία μπορεί να εμπλουτιστεί με επιπρόσθετες επεκτάσεις στις ακόλουθες κατευθύνσεις:

Προσθήκη μηχανισμών συσσώρευσης - ανάκτησης ενέργειας. Η συσσώρευση και ανάκτηση ενέργειας είτε βασιστεί σε αμιγώς ηλεκτρικό επίπεδο είτε σε οποιοδήποτε εναλλακτικό σχήμα, εισάγει οντότητες στο μοντέλο που λειτουργούν χρονικά με δυϊκό ρόλο. Σε φάσεις όπου το δίκτυο παραγωγής έχει περίσσεια ισχύος και οι διατάξεις συσσώρευσης έχουν διαθέσιμη αποθηκευτική ικανότητα, λειτουργούν ως καταναλωτές αγοράζοντας αυτήν την ενέργεια. Στις φάσεις όπου το δίκτυο βιώνει έλλειμμα ισχύος και οι συσσωρευτές διαθέτουν ικανοποιητικά επίπεδα φόρτισης, λειτουργούν ως πάροχοι ισχύος πωλώντας ενέργεια προς τους καταναλωτές. Προφανώς, στην προσθήκη μίας τέτοιας λειτουργικότητας θα πρέπει να σταθμιστεί ο τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο να μην επιβαρύνεται η λειτουργία του ηλεκτρικού φορτίου με έναν σημαντικό επιπρόσθετο καταναλωτή. Οι συσσωρευτές θα πρέπει να αποθηκεύουν ενέργεια αγοράζοντας αυτήν σε φάσεις όπου η περίσσεια ισχύος στο δίκτυο διασφαλίζει σχετικά χαμηλές τιμές. Η πώληση της ισχύος τους (εκφόρτιση) θα πρέπει να γίνεται στις φάσεις όπου οι πάροχοι δεν επαρκούν για την κάλυψη, αλλά σε λογικά κόστη για να συγκρατούν τις τιμές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντας ένα λογικό κέρδος για τις μονάδες συσσώρευσης. Το κέρδος αυτό αποσκοπεί στην δυνατότητα συντήρησης τους και μελλοντικής αντικατάστασης - επέκτασης τους. Η τοπικότητα στην λειτουργία ενός "κέντρου συσσώρευσης ενέργειας" διευκολύνει επίσης τις απαιτήσεις μεταφοράς ισχύος σε ένα δίκτυο.

Προσθήκη απωλειών και φαινομένων γραμμών μεταφοράς - δικτύων διανομής. Η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης γίνεται θεωρώντας την διάθεση ενέργειας ως κεντριοποιημένη χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις μεταφοράς της ισχύος από το σημείο παραγωγής της προς τους καταναλωτές. Η προσθήκη των δικτύων διανομής και των γραμμών μεταφοράς εισάγει τα θέματα συμφόρησης και κόστους για την μεταφορά της παραγόμενης ισχύος από τα σημεία παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης της. Συνεπικουρικά με τα συστήματα συσσώρευσης του μοντέλου μπορεί να λειτουργήσουν συνδυαστικά ως προς την κατανομή ισχύος σε ένα γεωγραφικά αποκεντρωμένο - πραγματικό σύστημα με ρεαλιστικό τρόπο. Τα κόστη για την συντήρηση των γραμμών μεταφοράς και την λειτουργία τους αποτιμώνται σε κόστος ανά μονάδα μεταφερόμενης ισχύος. Το κόστος αυτό προσauξάνει (αν και όχι σημαντικά) το μέσο οριακό κόστος για την λειτουργία της αγοράς.

Αλλαγή των τεχνικών βελτιστοποίησης σε χρονικά βήματα που λαμβάνουν συνολικά υπόψη κόστη επανα-ενεργοποίησης παρόχων. Όπως αποδείχθηκε από την διαδικασία προσομοίωσης, ένα σημαντικό τμήμα του οριακού κόστους οφείλεται στα κόστη

διαδοχικών επανα-ενεργοποιήσεων παρόχων, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλά κόστη ενεργοποίησης. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αναζητά τοπικό ελάχιστο στο δεδομένο βήμα επίλυσης χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις επόμενες συνθήκες βελτιστοποίησης που θα απαιτηθούν στην χρονική εξέλιξη των σεναρίων ζήτησης ενέργειας. Η ενσωμάτωση εναλλακτικών αλγορίθμων μπορεί να καταδείξει την απομείωση του κόστους για το Μέσο οριακό κόστος με ενδεχόμενη παραμονή στην ενεργότητα των παρόχων με υψηλά κόστη ενεργοποίησης. Αυτό μπορεί να συμβεί εφόσον ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης λάβει υπόψη τις άμεσες επόμενες χρονικές ανάγκες ενέργειας, διατηρώντας έναν υψηλού αρχικού κόστους πάροχο σε κατάσταση λειτουργίας, ακόμη και αν η περίσσεια ισχύος που δημιουργείται δεν απαιτείται στην τρέχουσα χρονική φάση βελτιστοποίησης

Διαδικασία βελτιστοποίησης κατά κλάσεις και επίπεδα απαιτήσεων. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης για το υφιστάμενο μοντέλο εκτελεί την διαδικασία βελτιστοποίησης θεωρώντας "ισότιμες" όλες τις προσφορές ισχύος των Παρόχων, επιλέγοντας αυτές που οδηγούν στο μικρότερο λειτουργικό κόστος. Προφανώς ένας Πάροχος με παραγωγική ικανότητα της τάξης μερικών KW είναι ισότιμος με έναν Πάροχο παραγωγικής ικανότητας της τάξεως των MW, με μοναδικό κριτήριο επιλογής του ενός έναντι του άλλου με βάση το προσφερόμενο κόστος ανά τιμή παρεχόμενης ισχύος.

Θα πρέπει να διερευνηθεί το ενδεχόμενο βελτιστοποίησης σε κλάσεις όπου Πάροχοι ίδιου παραγωγικού επιπέδου συγκρίνονται στην πρώτη φάση βελτιστοποίησης για την επιλογή τους. Σε δεύτερη φάση η διαδικασία βελτιστοποίησης θα καταφεύγει στην επόμενη κλάση με χαμηλότερη παραγωγική ικανότητα, κ.ο.κ. μέχρι την κάλυψη των συνολικών απαιτήσεων του δικτύου.

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να οδηγεί αρχικά στην εκτίμηση ότι επιτυγχάνεται υπο-βέλτιστη λύση στο πρόβλημα, αλλά λαμβάνοντας υπόψη κόστη επανα-ενεργοποίησης μπορεί ενδεχόμενα να αποδειχθεί πλεονεκτικότερη ως προς την επιλογή της.

Γενικότερα το θέμα διερεύνησης των αλγορίθμων βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια μοντέλα εκκαθάρισης της αγοράς, αποτελεί έναν σημαντικό τομέα προς διερεύνηση. Η σύγκριση των αλγορίθμων μπορεί να γίνει από τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης που μπορεί να επιτευχθούν σε έναν χρονικό ορίζοντα, ο οποίος υπερβαίνει την σύντομη χρονική διάρκεια ενός βήματος βελτιστοποίησης.

Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Στο παράρτημα παρουσιάζονται οι νομοθετικές – ιδρυτικές αρχές για την Ρ.Α.Ε., Α.Δ.Μ.Η.Ε., για την Αγορά Επόμενης Ημέρας, την Ενδοημερήσια Αγορά και την Προθεσμιακή Αγορά, όπως προκύπτουν από τις ιδρυτικές νομοθετικές πράξεις τους. Η πληροφορία παρατίθεται αυτούσια από τις αντίστοιχες ιδρυτικές πράξεις.

A-1 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Ρ.Α.Ε.

Τα κυριότερα νομοθετικά σημεία αφορούν σε [9], [10]:

- Η κυριότητα του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας παραμένει στην Δ.Ε.Η.
- Η Διαχείριση του Συστήματος ανατίθεται στην ανώνυμη εταιρεία με την επωνυμία «Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.» (ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε.) [13]. Η τελευταία ιδρύεται με προεδρικό διάταγμα, 6 μήνες μετά τη δημοσίευση του νόμου. Ο φορέας ασκεί τις αρμοδιότητες που ορίζονται στο άρθρο 15 του νόμου.
- Η διαχείριση του Συστήματος, διενεργείται σύμφωνα με τον «Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος». Επιπρόσθετα, καταρτίζεται και ο «Κώδικας Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας».
- Η Δ.Ε.Η. κατέχει την κυριότητα και το δικαίωμα διαχείρισης του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Η διαχείριση του Δικτύου Διανομής γίνεται σύμφωνα με τον «Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου».
- Επιβάλλεται ο λογιστικός διαχωρισμός στις Ολοκληρωμένες Ηλεκτρικές Επιχειρήσεις. Οι τελευταίες «υποχρεούνται να τηρούν χωριστούς λογαριασμούς κατά κλάδο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας».

A-2 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Α.Δ.Μ.Η.Ε.

Τα κυριότερα σημεία από το νέο νομικό πλαίσιο είναι:

- Η κυριότητα του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) παραμένει στην Δ.Ε.Η.
- Επιβάλλεται νομικός και λειτουργικός διαχωρισμός της δραστηριότητας Διαχείρισης του Δικτύου Διανομής από την ιδιοκτησία της Δ.Ε.Η. Α.Ε..
- Η απόσχιση του κλάδου της Διανομής, οδηγεί στην σύσταση της θυγατρικής της εταιρείας με την επωνυμία «Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.» (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.).
- Με την ολοκλήρωση της μεταφοράς των δραστηριοτήτων της ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. στην ΑΔΜΗΕ Α.Ε., η ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. μετονομάζεται σε «ΛΑΓΗΕ Α.Ε.», «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.».
- Η οργάνωση και καθημερινή λειτουργία της χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δομείται βάσει του μοντέλου της υποχρεωτικής κοινοπραξίας (mandatory pool), και ανατίθεται κατ' αποκλειστικότητα στην ΛΑΓΗΕ Α.Ε.

- Η ΛΑΓΗΕ Α.Ε. μεταξύ άλλων τηρεί το Μητρώο Συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και διενεργεί τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (Η.Ε.Π.).
- Στην αγορά υποχρεωτικής κοινοπραξίας του Η.Ε.Π. συμμετέχουν οι παραγωγοί με την υποβολή προσφορών έγχυσης, και οι προμηθευτές και οι εκπρόσωποι φορτίου, με την υποβολή δηλώσεων για τον εφοδιασμό της επόμενης ημέρας.
- Ο ΛΑΓΗΕ κατατάσσει τις προσφορές σε αύξουσα σειρά (βάσει τιμής), και έπειτα προγραμματίζει την κατανομή φορτίου στους σταθμούς παραγωγής για την επόμενη ημέρα.
- Ο μηχανισμός αυτός είναι εκ φύσεως ένας μηχανισμός δημοπρασιών, υποχρεωτικής συμμετοχής.
- Το κόστος της ακριβότερης προσφοράς που σύμφωνα με τον προγραμματισμό εντάσσεται στο σύστημα, διαμορφώνει την τιμή στην ημερήσια χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η τιμή αυτή είναι η τιμή με την οποία αμείβονται οι παραγωγοί και η τιμή στην οποία οι προμηθευτές αγοράζουν ενέργεια. Η τιμή αυτή ονομάζεται «Οριακή Τιμή Συστήματος (Ο.Τ.Σ.)».

A-3 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Σκοπός του Κώδικα Αγοράς Επόμενης Ημέρας, είναι να καθορίσει τους όρους και τις προϋποθέσεις για τη λειτουργία της Αγοράς Επόμενης Ημέρας. Αναλυτικότερα:

- να ορίσει τους Επιλέξιμους Συμμετέχοντες και να περιγράψει τους σχετικούς Κανόνες Εγγραφής και Συμμετοχής για αυτούς.
- να ορίσει τα δικαιώματα των Συμμετεχόντων και τις υποχρεώσεις τους προς τον Διαχειριστή Αγοράς κατά τη συμμετοχή τους στην Αγορά Επόμενης Ημέρας,
- να ορίσει τα δικαιώματα του Διαχειριστή Αγοράς και τις υποχρεώσεις του προς τους Συμμετέχοντες, κατά τη συμμετοχή τους στην Αγορά Επόμενης Ημέρας,
- να επιτρέψει στο Διαχειριστή Αγοράς, στο Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς και στο Φορέα Εκκαθάρισης, Διακανονισμού και Κάλυψης Συναλλαγών, να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις τους, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία,
- να περιγράψει τις διαδικασίες και τους όρους της συνεργασίας μεταξύ του Διαχειριστή Αγοράς, του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς και άλλων σχετικών νομικών προσώπων, που έχουν ειδικές υποχρεώσεις όσον αφορά τη λειτουργία των Ευρωπαϊκών Αγορών Επόμενης Ημέρας, προκειμένου να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις που υπέχουν από το Νόμο,
- να περιγράψει τους κανόνες, τις διαδικασίες, τα χρονικά πλαίσια, τους όρους και τα πληροφοριακά συστήματα, σύμφωνα με τα οποία, οι Συμμετέχοντες συμμετέχουν στην Αγορά Επόμενης Ημέρας,
- να περιγράψει τις εφαρμοστέες διαδικασίες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη σύζευξη, σύμφωνα με τον Κανονισμό 2015/1222 της Ε.Ε. και τις σχετικές εκδοθείσες πράξεις εφαρμογής,
- να περιγράψει τις διεπαφές της Αγοράς Επόμενης Ημέρας με τη Χονδρική Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας και την Ενδοημερήσια Αγορά,
- να περιγράψει τις διαδικασίες Εκκαθάρισης, Διακανονισμού και Διαχείρισης Κινδύνου, σε σχέση με τις ποσότητες ενέργειας που διαπραγματεύτηκαν στην Αγορά Επόμενης Ημέρας,

- να αναφέρεται στις Έκτακτες Διαδικασίες Μετάπτωσης της Αγοράς Επόμενης Ημέρας,
- να ορίσει τους Λογιστικούς Λογαριασμούς που τηρεί ο Διαχειριστής Αγοράς για τη λειτουργία της Αγοράς Επόμενης Ημέρας,
- να ορίσει τη δομή των τελών της Αγοράς Επόμενης Ημέρας,
- να εξειδικεύσει τις υποχρεώσεις παροχής στοιχείων και πληροφοριών και παρακολούθησης του Διαχειριστή της Αγοράς,
- να ορίσει τις ποινές και κυρώσεις για τους Συμμετέχοντες, σε περίπτωση μη συμμόρφωσης τους, με τις Διατάξεις του προβλεπόμενου Κώδικα,
- να ορίσει τις διαδικασίες για την προστασία των εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών, και τέλος
- να ορίσει τις διαδικασίες επίλυσης διαφορών.

A-4 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Ενδοημερήσιας Αγοράς

Σκοπός του Κώδικα Ενδοημερήσιας Αγοράς είναι να καθορίσει τους όρους και τις προϋποθέσεις για τη λειτουργία της Ενδοημερήσιας Αγοράς. Αναλυτικότερα:

- να ορίσει τους Επιλέξιμους Συμμετέχοντες και να περιγράψει τους σχετικούς Κανόνες Εγγραφής και Συμμετοχής,
- να ορίσει τα δικαιώματα των Συμμετεχόντων και τις υποχρεώσεις τους, προς τον Διαχειριστή Αγοράς, όσον αφορά τη συμμετοχή τους στην Ενδοημερήσια Αγορά.
- να ορίσει τα δικαιώματα του Διαχειριστή Αγοράς και τις υποχρεώσεις του προς τους Συμμετέχοντες, όσον αφορά τη συμμετοχή τους στην Ενδοημερήσια Αγορά.
- να επιτρέψει στο Διαχειριστή Αγοράς, στο Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς και στο Φορέα Εκκαθάρισης Διακανονισμού και Κάλυψης Συναλλαγών, να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις τους σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
- να περιγράψει τις διαδικασίες και τους όρους της συνεργασίας μεταξύ του Διαχειριστή Αγοράς, του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς, και άλλων σχετικών νομικών προσώπων που έχουν ειδικές υποχρεώσεις, όσον αφορά στη λειτουργία των Ευρωπαϊκών Ενδοημερήσιων Αγορών, προκειμένου να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις που υπέχουν από το Νόμο.
- να περιγράψει τις φάσεις υλοποίησης της ελληνικής Ενδοημερήσιας Αγοράς, εφαρμόζοντας σταδιακά Τοπικές Ενδοημερήσιες Δημοπρασίες στην πρώτη φάση και Συμπληρωματικές Περιφερειακές Ενδοημερήσιες Δημοπρασίες και Συνεχή Ενδοημερήσια Συναλλαγή στη δεύτερη φάση.
- να περιγράψει τους κανόνες, τις διαδικασίες, τα χρονικά πλαίσια, τους όρους και τα πληροφοριακά συστήματα, σύμφωνα με τα οποία οι Συμμετέχοντες συμμετέχουν στην Ενδοημερήσια Αγορά.
- να περιγράψει τις εφαρμοστέες διαδικασίες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη σύζευξη, σύμφωνα με τον 2015/1222 της Ε.Ε. και τις σχετικές εκδοθείσες πράξεις εφαρμογής.
- να περιγράψει τις διεπαφές της Ενδοημερήσιας Αγοράς με την Αγορά Επόμενης Ημέρας και την Αγορά Εξισορρόπησης.
- να περιγράψει τις διαδικασίες Εκκαθάρισης, Διακανονισμού και Διαχείρισης Κινδύνου, σε σχέση με τις ποσότητες ενέργειας που διαπραγματεύτηκαν στην Ενδοημερήσια Αγορά.

- να ορίσει τους Λογιστικούς Λογαριασμούς που τηρεί ο Διαχειριστής Αγοράς για τη λειτουργία της Ενδομερήσιας Αγοράς.
- να ορίσει τη δομή των τελών της Ενδομερήσιας Αγοράς.
- να εξειδικεύσει τις υποχρεώσεις παροχής στοιχείων και πληροφοριών και εποπτείας του Διαχειριστή της Αγοράς.
- να ορίσει τις διαδικασίες για την προστασία των εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών. Και τέλος
- να ορίσει τις διαδικασίες επίλυσης διαφορών.

A-5 Νομοθετικά σημεία αναφοράς Προθεσμιακής Αγοράς

Σκοπός του Κώδικα Προθεσμιακής Αγοράς είναι να καθορίσει τους όρους και τις προϋποθέσεις για τη λειτουργία της Προθεσμιακής Αγοράς. Αναλυτικότερα [9], [17]:

- να ορίσει τους Επιλέξιμους Συμμετέχοντες και να περιγράψει τους σχετικούς Κανόνες Εγγραφής και Συμμετοχής.
- να καθορίσει τα δικαιώματα των Συμμετεχόντων και τις υποχρεώσεις τους προς το Διαχειριστή Αγοράς, όσον αφορά στη συμμετοχή τους στην Προθεσμιακή Αγορά.
- να καθορίσει τα δικαιώματα του Διαχειριστή Αγοράς και τις υποχρεώσεις του προς τους Συμμετέχοντες, όσον αφορά στη συμμετοχή τους στην Προθεσμιακή Αγορά.
- να επιτρέψει στο Διαχειριστή Αγοράς, στο Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς, και στο Φορέα Εκκαθάρισης Διακανονισμού και Κάλυψης Συναλλαγών, να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις τους, με βάση την κείμενη νομοθεσία.
- να περιγράψει τις διαδικασίες και τους όρους συνεργασίας του Διαχειριστή Αγοράς, του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς, και του Φορέα Εκκαθάρισης, ώστε να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις τους, σύμφωνα με το Νόμο.
- να περιγράψει τους κανόνες, τις διαδικασίες, τα χρονικά πλαίσια, τους όρους και τα πληροφοριακά συστήματα, με τα οποία οι Συμμετέχοντες, συμμετέχουν στην Προθεσμιακή Αγορά.
- να περιγράψει τις διεπαφές της Προθεσμιακής Αγοράς, με την Αγορά Επόμενης Ημέρας.
- να περιγράψει τις διαδικασίες Εκκαθάρισης, Διακανονισμού και Διαχείρισης Κινδύνου, των Προθεσμιακών Συμβολαίων.
- να ορίσει τους Λογιστικούς Λογαριασμούς που τηρεί ο Διαχειριστής Αγοράς ή ο Φορέας Εκκαθάρισης για την Εκκαθάριση, και το Διακανονισμό της Προθεσμιακής Αγοράς.
- να ορίζει τη δομή των τελών της Προθεσμιακής Αγοράς.
- να εξειδικεύσει τις υποχρεώσεις υποβολής αναφορών και παρακολούθησης του Διαχειριστή Αγοράς.
- να καθορίσει τις ποινές και κυρώσεις για τους Συμμετέχοντες, σε περίπτωση μη συμμόρφωσης με τις κείμενες Διατάξεις.
- να καθορίσει τις μεθόδους προστασίας των εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών. Και τέλος
- να καθορίσει τις διαδικασίες επίλυσης διαφορών.

Παράρτημα Β

B-1 Αρχείο Παρόχων Σεναρίου Προσομοίωσης

Hour	Prov#1 Offer (RES)			Prov#2 Offer (Natural Gas)			Prov#3 Offer (Lignite)		
	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
0	2625.422	300.00	0.037	2007.9	350.00	0.049	627	1500.00	0.156
1	2610.774	300.00	0.036	1862.9	350.00	0.051	302	1500.00	0.315
2	2518.521	300.00	0.037	1762.9	350.00	0.053	302	1500.00	0.31
3	2389.029	300.00	0.039	1762.9	350.00	0.053	302	1500.00	0.309
4	2178.035	300.00	0.045	2057.9	350.00	0.048	302	1500.00	0.328
5	1937.912	300.00	0.061	3092.461	350.00	0.038	302	1500.00	0.394
6	1745.087	300.00	0.083	4174.416	350.00	0.035	613.831	1500.00	0.236
7	2242.34	300.00	0.074	4249.912	350.00	0.039	616	1500.00	0.268
8	3362.663	300.00	0.053	4117.107	350.00	0.043	616	1500.00	0.291
9	4361.237	300.00	0.03	3746.833	350.00	0.035	491.114	1500.00	0.265
10	4957.322	300.00	0.024	3306.245	350.00	0.037	302	1500.00	0.402
11	5107.72	300.00	0.023	3212.434	350.00	0.037	302	1500.00	0.393
12	4771.196	300.00	0.027	3522.4	350.00	0.036	306.515	1500.00	0.413
13	4050.095	300.00	0.034	3714.004	350.00	0.037	564.479	1500.00	0.246
14	3055.056	300.00	0.059	4377.756	350.00	0.041	616	1500.00	0.292
15	2068.123	300.00	0.093	4353.124	350.00	0.044	616	1500.00	0.313
16	1691.548	300.00	0.115	4366.644	350.00	0.045	616	1500.00	0.316
17	1627.033	300.00	0.121	4366.15	350.00	0.045	616	1500.00	0.319
18	1595.295	300.00	0.113	4332.8	350.00	0.042	616	1500.00	0.294
19	1577.92	300.00	0.114	4301.05	350.00	0.042	616	1500.00	0.292
20	1564.91	300.00	0.106	4249.559	350.00	0.039	616	1500.00	0.269
21	1568.172	300.00	0.096	4147.604	350.00	0.036	616	1500.00	0.244
22	1531.661	300.00	0.09	4184.911	350.00	0.033	559.329	1500.00	0.247
23	1480.711	300.00	0.082	3649.789	350.00	0.033	302	1500.00	0.402

Prov#4 Offer ITALY			Prov#5 Offer TURKEY			Prov#6 Offer (Big Hydro)		
Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
29	0.00	3.383	75	0.00	1.308	0	100.00	0
92	0.00	1.035	75	0.00	1.269	0	100.00	0
120	0.00	0.779	75	0.00	1.246	0	100.00	0
139	0.00	0.67	75	0.00	1.243	0	100.00	0
136	0.00	0.728	75	0.00	1.321	0	100.00	0
188	0.00	0.632	75	0.00	1.585	0	100.00	0
86	0.00	1.686	75	0.00	1.933	26	100.00	4.572
21	0.00	7.857	75	0.00	2.2	26	100.00	5.576
21	0.00	8.524	75	0.00	2.387	168	100.00	0.982
21	0.00	6.206	75	0.00	1.738	168	100.00	1.065
21	0.00	5.776	75	0.00	1.617	77	100.00	1.693
21	0.00	5.653	75	0.00	1.583	77	100.00	1.575

21	0.00	6.029	75	0.00	1.688	27	100.00	4.397
21	0.00	6.605	75	0.00	1.849	50	100.00	2.774
31	0.00	5.806	75	0.00	2.4	50	100.00	3.6
98	0.00	1.969	75	0.00	2.573	110	100.00	1.754
134	0.00	1.453	75	0.00	2.596	684	100.00	0.285
137	0.00	1.432	75	0.00	2.616	941	100.00	0.209
122	0.00	1.484	75	0.00	2.413	821	100.00	0.22
122	0.00	1.475	75	0.00	2.399	376	100.00	0.479
140	0.00	1.182	75	0.00	2.207	291	100.00	0.569
62	0.00	2.419	75	0.00	2	181	100.00	0.829
11	0.00	12.539	75	0.00	1.839	26	100.00	5.305
11	0.00	11.034	75	0.00	1.618	0	100.00	0

CRETE CONVENTIONAL

CRETE RESL

IMPORTS

Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)	Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
81	100.00	0.826	107	0.00	1.091	218	0.00	2.181
81	100.00	0.851	104	0.00	1.092	222	0.00	2.332
87	100.00	0.931	100	0.00	1.07	223	0.00	2.386
87	100.00	0.934	95	0.00	1.019	223	0.00	2.393
87	100.00	0.878	88	0.00	0.889	216	0.00	2.181
87	100.00	0.732	80	0.00	0.673	203	0.00	1.708
97	100.00	0.669	74	0.00	0.51	40	0.00	0.276
127.5	100.00	0.773	77	0.00	0.467	22	0.00	0.133
122.5	100.00	0.684	89	0.00	0.497	17	0.00	0.095
122.5	100.00	0.94	100	0.00	0.767	17	0.00	0.13
120	100.00	0.989	105	0.00	0.866	17	0.00	0.14
120	100.00	1.011	101	0.00	0.851	17	0.00	0.143
120	100.00	0.948	91	0.00	0.719	17	0.00	0.134
120	100.00	0.865	75	0.00	0.541	17	0.00	0.123
130	100.00	0.722	54	0.00	0.3	17	0.00	0.094
165	100.00	0.855	35	0.00	0.181	17	0.00	0.088
208	100.00	1.068	28	0.00	0.144	40	0.00	0.205
226	100.00	1.152	27	0.00	0.138	40	0.00	0.204
229	100.00	1.265	28	0.00	0.155	40	0.00	0.221
220	100.00	1.223	30	0.00	0.167	40	0.00	0.222
189	100.00	1.142	34	0.00	0.205	40	0.00	0.242
145	100.00	0.967	38	0.00	0.253	29	0.00	0.193
104	100.00	0.754	41	0.00	0.297	40	0.00	0.29
104	100.00	0.857	43	0.00	0.354	108	0.00	0.89

IMPORTS#2

Pmax (KW)	Initial Cost (Eur)	Sell Price (Eur/KW)
5000	0.00	0.05
3325	0.00	0.05
1011	0.00	0.05
4125	0.00	0.05
2201	0.00	0.05
542	0.00	0.05

612	0.00	0.05
789	0.00	0.05
12	0.00	0.05
4587	0.00	0.05
1254	0.00	0.05
53	0.00	0.05
1254	0.00	0.05
3233	0.00	0.05
2233	0.00	0.05
156	0.00	0.05
3897	0.00	0.05
2564	0.00	0.05
558	0.00	0.05
3462	0.00	0.05
1255	0.00	0.05
122	0.00	0.05
1009	0.00	0.05
1731	0.00	0.05

B-2 Αρχείο Καταναλωτών Σεναρίου Προσομοίωσης

Hour	HV		LV		MV		PUMP	
	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)
0	820.274	0.15	2445.875	0.1	1079.458	0.12	235.00	0.2
1	805.649	0.15	2334.147	0.1	1068.659	0.12	235.00	0.2
2	796.076	0.15	2251.678	0.1	1067.461	0.12	235.00	0.2
3	795.366	0.15	2204	0.1	1068.268	0.12	235.00	0.2
4	794.054	0.15	2314.43	0.1	1115.201	0.12	235.00	0.2
5	801.002	0.15	2641.578	0.1	1253.536	0.12	0.00	0.2
6	804.27	0.15	3097.604	0.1	1486.418	0.12	0.00	0.2
7	802.521	0.15	3439.496	0.1	1640.821	0.12	0.00	0.2
8	790.386	0.15	3732.105	0.1	1691.776	0.12	0.00	0.2
9	790.19	0.15	3804.379	0.1	1661.115	0.12	0.00	0.2
10	804.075	0.15	3824.382	0.1	1635.11	0.12	0.00	0.2
11	822.234	0.15	3819.232	0.1	1603.188	0.12	0.00	0.2
12	755.995	0.15	3832.941	0.1	1594.175	0.12	0.00	0.2
13	754.006	0.15	3690.442	0.1	1556.295	0.12	0.00	0.2
14	729.299	0.15	3702.056	0.1	1545.28	0.12	0.00	0.2
15	729.949	0.15	3702.688	0.1	1536.173	0.12	0.00	0.2
16	737.246	0.15	4009.73	0.1	1574.723	0.12	0.00	0.2
17	732.143	0.15	4256.57	0.1	1557.119	0.12	0.00	0.2
18	712.477	0.15	4314.212	0.1	1510.325	0.12	0.00	0.2
19	695.285	0.15	4317.995	0.1	1459.494	0.12	0.00	0.2
20	691.363	0.15	4080.064	0.1	1349.143	0.12	0.00	0.2
21	765.951	0.15	3721.166	0.1	1210.971	0.12	0.00	0.2
22	814.404	0.15	3312.197	0.1	1140.414	0.12	0.00	0.2
23	859.228	0.15	2783.718	0.1	1087.492	0.12	0.00	0.2

LOSSES		EXPORTS		EXPORTS#2		EXPORTS#3	
Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)	Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)

114	0.1	126	0.12	500	0.12	189	0.12
107.5	0.1	128	0.12	500	0.12	160	0.12
105	0.1	114	0.12	500	0.12	103	0.12
104.5	0.1	109	0.12	500	0.12	55	0.12
101.5	0.1	116	0.12	500	0.12	55	0.12
103	0.1	102	0.12	500	0.12	53	0.12
157.5	0.1	120	0.12	120	0.12	242	0.12
179	0.1	91	0.12	500	0.12	398	0.12
157	0.1	169	0.12	500	0.12	500	0.12
140	0.1	170	0.12	500	0.12	500	0.12
128	0.1	205	0.12	500	0.12	500	0.12
128.5	0.1	209	0.12	443.3	0.12	500	0.12
134	0.1	207	0.12	144.7	0.12	500	0.12
150.5	0.1	197	0.12	0	0.12	500	0.12
180.5	0.1	197	0.12	0	0.12	500	0.12
217	0.1	58	0.12	0	0.12	424	0.12
217	0.1	36	0.12	0	0.12	416	0.12
217	0.1	34	0.12	0.7	0.12	416	0.12
226	0.1	29	0.12	0	0.12	416	0.12
246	0.1	30	0.12	0	0.12	401	0.12
237.5	0.1	65	0.12	0	0.12	401	0.12
220	0.1	98	0.12	0	0.12	396	0.12
187.5	0.1	114	0.12	500	0.12	311	0.12
147	0.1	105	0.12	500	0.12	299	0.12

CRETE LOAD	
Pdemand (KW)	Pbidding (Eur)
215	0.15
209	0.15
206	0.15
205	0.15
218	0.15
246	0.15
283	0.15
311	0.15
341	0.15
358	0.15
361	0.15
353	0.15
352	0.15
336	0.15
334	0.15
350	0.15
386	0.15
403	0.15
407	0.15
400	0.15
373	0.15
333	0.15
287	0.15
255	0.15

Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Οικονομική Ανάλυση Ηλεκτρικών Συστημάτων, Δρ. Ε. Λεκατσά, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα 2000
- [2] Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council, 19 December 1996
- [3] Electricity Market Reform, An International Perspective, F.P. Sioshansi, W. Pfaffenberger, © Elsevier, 2005
- [4] Fundamentals of Power System Economics D.S. Kirchen, G. Strbac, © Wiley, 2004
- [5] Spot Pricing of Electricity, T.A. Lipo, © Kluwer Academic Publishers, 1988
- [6] Η Ελληνική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας: Το Ευρωπαϊκό Μοντέλο Στόχος και το Χρηματιστήριο Ενέργειας, Διπλ. Εργασία, Ε. Ναντσή, Ειδ. Δίκαιο και Οικονομικά, Νοέμβριος 2019
- [7] Κώδικας Αγοράς Επόμενης Ημέρας,
- [8] Regulatory Authority for Energy Independent Power Transmission Operator, Hellenic Electricity Market Operator, © ECCO, 19 October 2017
- [9] Χονδρική Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας,
- [10] Κώδικας Ενδοημερήσιας Αγοράς και Τροποποιήσεις,
- [11] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (P.A.E.), <https://www.rae.gr>
- [12] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ενέργειας, (ΑΔΜΗΕ), <https://www.admie.gr>
- [13] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, (ΔΕΣΜΗΕ), <https://www.xo.gr/profile/profile-911028816/el/>
- [14] Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας, (Ε.Χ.Ε.), <https://www.athexgroup.gr/el/energy-exchange-group>
- [15] Αγορά Επόμενης Ημέρας Day Ahead Market, <https://www.next-kraftwerke.be/en/knowledge-hub/day-ahead-trading/>
- [16] Ενδο-ημερήσια Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας Intra-Day Market, <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/intraday-trading>
- [17] Μελλοντική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας Forward Market, <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/1472-forward-electricity-market>
- [18] Αγορά Εξισορρόπησης Balancing Market, <https://www.admie.gr/en/market/regulatory-framework/balancing-market-rule-book>

[19] Carbon Dioxide Emissions <https://www.statista.com/statistics/450017/co2-emissions-europe-eurasia/>

[20] Μοντέλα Βελτιστοποίησης σε Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας, Α. Παπαβασιλείου, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ

[21] Whole-Systems Assessment of the Value of Energy Storage in Low-Carbon Electricity Systems, D. Pudjianto, M. Aunedi, P. Djapic, G. Strbac, IEEE Transactions on Smart Grid (Volume: 5, Issue: 2, March 2014)

[23] Matlab Totorial and Online Help Mathworks © 2024

[24] Net Metering https://en.wikipedia.org/wiki/Net_metering

[25] Enex Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας <https://www.enexgroup.gr/el/home>

[26] Enex Δημοσιεύσεις Αγοράς Επόμενης Ημέρας <https://www.enexgroup.gr/el/markets-publications-el-day-ahead-market>