



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Υπολογιστική Μάθηση για την Καθοδήγηση της Ζήτησης
της Ενέργειας μέσω Σημάτων Τιμών

Διπλωματική Εργασία

Διάκου Ανδρονίκη

Επιβλέποντες Καθηγητές

Ελευθέριος Τσουκαλάς

Καθηγητής ΠΘ

Διονύσιος Βαβουγιός

Καθηγητής ΠΘ

Βόλος 2017



UNIVERSITY OF THESSALY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Machine Learning for Energy price-directed Demand

DIPLOMA THESIS

Diakou Androniki

Supervisors

Eleutherios Tsoukalas
Professor UTH
Dionisios Vavougiou
Professor UTH

Volos 2017

Ευχαριστίες

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου, καθώς και το συνεπιβλέποντα καθηγητή Διονύσιο Βαβουγιό.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μπαργιώτα Δημήτριο για τις χρήσιμες συμβουλές και τις διορθώσεις του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Υπολογιστική μάθηση για την καθοδήγηση της ζήτησης της ενέργειας μέσω σημάτων τιμών

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η υπολογιστική μάθηση για την καθοδήγηση της ζήτησης της ενέργειας μέσω σημάτων τιμών. Η πρόβλεψη φορτίου και πιο πρόσφατα, η πρόβλεψη των τιμών είναι βασικές τεχνολογίες ώστε να μπορούν οι συμμετέχοντες στην αγορά να λαμβάνουν τις βέλτιστες αποφάσεις σχετικά με την απόκριση της ζήτησης και συνεπώς να μεγιστοποιούν τα κέρδη τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά της απελευθερωμένης αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Περιγράφονται οι τύποι των αγορών, οι βασικές οντότητες της αγοράς και γίνεται μια εισαγωγή σε έναν ελαχίστου-κόστους σχεδιασμό αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός της δυναμικής τιμολόγησης, αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ενέργειας, η δυναμική τιμολόγηση στις ΗΠΑ καθώς και η απόκριση της ζήτησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, ορίζονται οι έννοιες της απόκρισης και διαχείρισης της ζήτησης, αναλύονται προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης, ο τρόπος με τον οποίο εντάσσεται η ζήτηση στο σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την διαχείρισή της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο Ενεργειακό Διαδίκτυο(Energy Internet), παρατίθενται τα χαρακτηριστικά αυτού, η αρχιτεκτονική του αλλά αναλύονται και τα χαρακτηριστικά ενός ενεργειακού δρομολογητή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύεται η μέθοδος του εικονικού προϋπολογισμού που ενσωματώνεται στους έξυπνους μετρητές, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συγκεκριμένη μέθοδος σε σχέση με άλλες μεθόδους και παρατίθεται ένα παράδειγμα με δεδομένα πραγματικού κόσμου από το New England ISO.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε από τη χρήση της μεθόδου του εικονικού προϋπολογισμού (Virtual Budget)

Abstract

The present diploma thesis is analyzing the machine learning for energy price-directed demand. Load forecasting and more recently, price forecasting are key technologies for market participants to make optimal decisions regarding their demand response and maximize gains.

The first chapter analyzes the main characteristics of a liberalized electricity market. Furthermore, the chapter describes the types of electricity markets, the participants of market and a least-cost electricity market design.

The second chapter analyzes the term of dynamic pricing as well as the facts affecting the price of energy. Also, it is referring to the demand response, the dynamic pricing in USA and the different programs of pricing that they exist.

The third chapter defines the concepts of demand response and demand management, analyzes demand management programs, how demand is comprised in the design of an electricity system and the benefits of its management.

The fourth chapter introduces an introduction to the Energy Internet, lists its features, its architecture and analyzes the characteristics of an energy router.

In the fifth chapter, we analyze the virtual budgeting method incorporated in smart meters, the advantages of this method compared to other methods, and an example with real-world data from New England ISO.

The final chapter refers to conclusions from virtual budget method.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
1.Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας	
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Μοντέλα της αγοράς.....	10
1.3 Τύποι αγορών.....	11
1.4 Συμμετέχοντες στην αγορά.....	13
1.5 Ελαχίστου-κόστους σχεδιασμός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
2.Διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας	
2.1 Εισαγωγή.	17
2.2 Ορισμός Δυναμικής Τιμολόγησης.....	17
2.3 Μεταβαλλόμενη συμπεριφορά της τιμής της Ενέργειας.....	18
2.4 Δυναμική Τιμολόγηση στις ΗΠΑ.....	19
2.5 Δυναμική τιμολόγηση σε συνδυασμό με έξυπνα δίκτυα και έξυπνους μετρητές.....	22
2.6 Κυριότεροι Παράγοντες της τιμής.....	23
3. Διαχείριση και Απόκριση της Ζήτησης	
3.1 Ορισμός εννοιών.....	24
3.2 Είδη Απόκρισης της Ζήτησης.....	25
3.3Στρατηγικές διαχείρισης της Ζήτησης.....	27
3.3 Προγράμματα διαχείρισης της Ζήτησης.....	28
3.5 Οφέλη από τη Διαχείριση της Ζήτησης.....	31
4.Energy Internet-Ενεργειακό Διαδίκτυο	
4.1Κύρια χαρακτηριστικά του Energy Internet.....	33

4.2 Χαρακτηριστικά του ενεργειακού δρομολογητή.....	35
4.3 Αρχιτεκτονική του Energy Internet.....	36
5.Εικονικός Προϋπολογισμός(VB)	
5.1 Πως λειτουργεί το Virtual Budget.....	39
5.2 Πρόβλεψη του φορτίου.....	40
5.3 Πρόβλεψη της τιμής.	41
5.4 Αναλυτική Προσέγγιση της μεθόδου.....	41
5.5 Εφαρμογή Virtual Budget σε ωριαία δεδομένα πραγματικού κόσμου.....	45
6.Συμπεράσματα.....	49
Βιβλιογραφία.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 άρχισε η αναμόρφωση ή κατ' άλλους απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, που στο τελικό της στάδιο φιλοδοξεί να δώσει τη δυνατότητα σε κάθε καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας να επιλέγει τον προμηθευτή του. Οι υποστηρικτές αυτής της ιδέας πιστεύουν ότι η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και η ελάττωση του κόστους της μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον ανταγωνισμό στην παραγωγή και τη διανομή της, δηλαδή να υπάρχουν πολλές εταιρίες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και να αναπτύσσεται μεταξύ τους ανταγωνισμός. Η απελευθέρωση όμως της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τα πιο σύνθετα τεχνοοικονομικά προβλήματα, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και διανέμεται μέσω του δικτύου χωρίς να έχει συγκεκριμένες διευθύνσεις. Εστιάζει στον περιορισμό της κρατικής παρέμβασης στη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και της ιδιοκτησίας αυτών καθώς και στην εισαγωγή ανταγωνισμού μέσω της εδραίωσης της χονδρεμπορικής(wholesale) και της λιανεμπορικής(retail) αγοράς. Η αναδιάρθρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφορά κυρίως στο διαχωρισμό του ανταγωνιστικού τομέα της παραγωγής από τα παραδοσιακά μονοπώλια των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Ο αποτελεσματικός διαχωρισμός της παραγωγής από τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς έτσι αποφεύγονται φαινόμενα μη ανταγωνιστικής συμπεριφοράς και διασφαλίζεται η πρόσβαση άλλων επιχειρήσεων στον τομέα της μεταφοράς. Επίσης με τον οριζόντιο διαχωρισμό των επιχειρήσεων μειώνεται η συγκέντρωση του ελέγχου της αγοράς σε λίγες επιχειρήσεις και ενθαρρύνεται ο ανταγωνισμός. Η προϋπόθεση αυτή είναι απαραίτητη ώστε να διευκολυνθεί ο ανταγωνισμός σε βραχυχρόνιο επίπεδο και να ενθαρρυνθεί η είσοδος νέων επιχειρήσεων μακροπρόθεσμα. Η εδραίωση αγορών χονδρικής και λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την απελευθέρωση της αγοράς. Αν και οι μεγάλοι καταναλωτές όπως οι βιομηχανίες έχουν επωφεληθεί από τον ανταγωνισμό σε επίπεδο χονδρικής πώλησης, οι οικιακοί καταναλωτές δεν απολαμβάνουν ακόμη τα οφέλη από τη λιανικά πώληση.

Ο ρόλος των ρυθμιστικών αρχών σε κάθε χώρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη διατήρηση του ανταγωνισμού και η επιβολή ρυθμίσεων και ελέγχου από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές πρέπει να προηγείται της απελευθέρωσης. Ανάμεσα στα καθήκοντα των ρυθμιστικών αρχών συγκαταλέγεται ο έλεγχος διασφάλισης της ελεύθερης και χωρίς διακρίσεις πρόσβασης των επιχειρήσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Δεδομένου ότι περίπου το 1/3 της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από τη χρέωση για διανομή και μεταφορά οι ρυθμιστικές αρχές πρέπει να ορίσουν ένα μοντέλο καθορισμού τιμής για τις υπηρεσίες αυτές. Τέλος, η ιδιωτικοποίηση των επιχειρήσεων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση του λειτουργικού κόστους των επιχειρήσεων, αφού αντικειμενικός σκοπός τους είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής η νομοθετική ρύθμιση το 1978(Public Utilities Regulator Policy Act(PURPA)) εισήγαγε την ιδέα του ανταγωνισμού στην παραγωγή και η νομοθετική ρύθμιση του 1992 (EPA) επέβαλε ομοσπονδιακά και τον ανταγωνισμό στην διανομή. Η Καλιφόρνια από το 1998 έδωσε την δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν τον προμηθευτή τους. Ο νόμος περί ηλεκτρισμού το 1989 οδήγησε σε νέα δομή το ηλεκτρικό δίκτυο της Αγγλίας και της Ουαλίας και σταδιακά επέτρεψε σε όλο και μικρότερους καταναλωτές να έχουν δυνατότητα επιλογής του προμηθευτή τους. Αυτή η δυνατότητα δόθηκε σε όλους τους καταναλωτές το 1998.

Οι χώρες της Λατινικής Αμερικής, στην προσπάθειά τους για προσέλκυση κεφαλαίων με στόχο τον εκσυγχρονισμό των ηλεκτρικών τους δικτύων, προχώρησαν στην ιδιωτικοποίηση των ηλεκτρικών τους συστημάτων, που στη Χιλή επισημοποιήθηκε το 1982 με τον αντίστοιχο νόμο περί ηλεκτρισμού.

Ο ενεργειακός νόμος του 1991 στη Νορβηγία διαχώρισε τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας σε τρεις συνιστώσες: την παραγωγή που ήταν απελευθερωμένη, το δίκτυο μεταφοράς και διανομής, που ρυθμίζονται σαν φυσικά μονοπώλια και τη διανομή που εισήχθη ο ανταγωνισμός.

Από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ολοκλήρωση της ανταγωνιστικής ηλεκτρικής αγοράς είναι ένα σημαντικό βήμα για την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά, μετά από εννέα χρόνια προσπαθειών για να βρεθεί ένας συμβιβασμός, θεσπίστηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ενέργεια στις 19 Φεβρουαρίου 1997, που έπρεπε να υιοθετηθεί από τις εθνικές νομοθεσίες μέσα σε δύο χρόνια. Οι βασικές αρχές της είναι:

- Κάθετα οργανωμένες ηλεκτρικές εταιρείες, δηλαδή εταιρείες που καλύπτουν και τις τρεις τομείς παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να καταστήσουν ανεξάρτητους αυτούς τους τομείς.
- Αποκλειστικά δικαιώματα εταιρειών να καταργηθούν
- Όλοι οι πελάτες, ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και οποιοσδήποτε παράγει ή εμπορεύεται ηλεκτρική ενέργεια να έχει πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς ή τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Μοντέλα της αγοράς

Υπάρχουν δύο στόχοι για να εδραιωθεί μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτον, η διασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας της και δεύτερον η διασφάλιση οικονομικής λειτουργίας της. Η ασφαλής λειτουργία κάνει χρήση υπηρεσιών που σχετίζονται με την παρουσία ειδικών συνθηκών λειτουργίας ενώ η οικονομική λειτουργία στοχεύει πρωτίστως στο κόστος παραγωγής. Για να καλυφθούν οι παραπάνω στόχοι υπάρχουν τρία μοντέλα αγοράς.

(α) Κοινοπραξία Ισχύος(Pool Corporation):

Ορίζεται σαν μια κεντροποιημένη πλειοδοσία που εκκαθαρίζει την αγορά για τους πωλητές και τους αγοραστές. Οι πωλητές και οι αγοραστές της ηλεκτρικής ισχύος προτείνουν προσφορές για το ποσό της ισχύος που είναι πρόθυμοι να εμπορευτούν στην αγορά. Οι πωλητές ανταγωνίζονται για το δικαίωμα της τροφοδοσίας του δικτύου με ενέργεια και όχι των τελικών καταναλωτών. Εάν η τιμή της πλειοδοσίας ενός πωλητή είναι υψηλή τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να πουλήσει. Από την άλλη εάν η τιμή της πλειοδοσίας είναι χαμηλή τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να αγοράσει. Σε αυτό το μοντέλο της αγοράς ανταμείβονται κυρίως οι χαμηλού κόστους μονάδες παραγωγής. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής του Δικτύου(Independent System Operator,ISO) μέσα στην κοινοπραξία ισχύος διαχειρίζεται την οικονομική διεκπεραίωση και παράγει μια απλή(spot) τιμή για την ηλεκτρική ενέργεια. Η τιμή αυτή αποτελεί μια ένδειξη για την κατανάλωση αλλά και για τις διενέργειες των παραγωγών. Η δυναμική της αγοράς οδηγεί τη spot τιμή σε ένα ανταγωνιστικό επίπεδο που είναι ίσο με το οριακό κόστος των περισσότερο αποδοτικών πλειοδοτών. Οι νικητές πλειοδότες πιστώνονται με τη spot τιμή η οποία ισούται με την υψηλότερη τιμή της πλειοδοσίας.

(β) Διμερή Συμβόλαια(Bilateral Contracts):

Πρόκειται για διαπραγματεύσιμες συμφωνίες δύο εμπόρων για την παράδοση και παραλαβή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτές οι διαπραγματεύσεις θέτουν τους όρους και τις συμφωνίες μεταξύ των εμπόρων και είναι ανεξάρτητες του ISO. Παρ' όλα αυτά σε αυτό το μοντέλο ο ISO, θα επαληθεύσει ότι υφίστανται μια επαρκής ικανότητα μεταφοράς ισχύος ώστε να ολοκληρωθούν οι δοσοληψίες. Το μοντέλο των Διμερών Συμβολαίων είναι αρκετά ευέλικτο εφόσον οι συμμετέχοντες σε αυτό είναι σε θέση να επισυνάψουν την επιθυμητή συμφωνία. Μειονεκτεί στο υψηλό κόστος διαπραγμάτευσης και της συγγραφής του συμβολαίου και εμπεριέχει το ρίσκο της φερεγγυότητας των συμμετεχόντων.

(γ)Υβριδικό Μοντέλο(Hybrid Model):

Περιέχει στοιχεία από τα δύο προηγούμενα μοντέλα. Σε αυτό το μοντέλο κάθε πελάτης είναι ελεύθερος να συνάψει συμβόλαια απευθείας με τους παραγωγούς ή να επιλέξει να αγοράσει με την τιμή της κοινοπραξίας. Το πλεονέκτημα του υβριδικού μοντέλου είναι η κάλυψη των πραγματικών αναγκών σε ενέργεια των πελατών αλλά και η ώθηση της δημιουργίας ειδικών πολιτικών τιμολόγησης και υπηρεσιών που ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις ανάγκες των πελατών.

1.3 Τύποι των αγορών

Υπάρχουν Τύποι αγορών που η λειτουργία της μίας αλληλεπιδρά με την άλλη.

(1) Αγορά Ενέργειας(Energy Market):

Σε αυτή την αγορά παίρνει μέρος το ανταγωνιστικό εμπόριο του ηλεκτρισμού. Είναι ένας κεντροποιημένος μηχανισμός που διευκολύνει περισσότερο το εμπόριο ενέργειας μεταξύ πωλητών και αγοραστών. Όλη η λειτουργία της αγοράς ελέγχεται από τον ISO.

(2) Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών(Ancillary Services Market):

Είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας της λειτουργίας του δικτύου και η προμήθειά τους γίνεται μέσω του ανταγωνισμού. Οι πλειοδοσίες των Επικουρικών Υπηρεσιών αποτελούνται από πλειοδοσία χωρητικότητας και ενέργειας. Η εκκαθάριση μπορεί να γίνει σειριακά ή ταυτόχρονα. Κατά τη σειριακή προσέγγιση η εκκαθάριση μπορεί να γίνει πρώτα στη υψηλότερη ποιοτικά υπηρεσία και στη συνέχεια στις αμέσως υψηλότερες. Για παράδειγμα, έστω 4 τύποι υπηρεσιών εμπορεύονται υψηλότερης προς χαμηλότερης ποιότητας εφεδρεία ρύθμισης, στρεφόμενη εφεδρεία, μη στρεφόμενη εφεδρεία και εφεδρεία αντικατάστασης. Η εκκαθάριση θα γίνει πρώτα για την εφεδρεία ρύθμισης και έπειτα για τις άλλες που ακολουθούν. Σε κάθε γύρο οι πλειοδότες μπορούν να πλειοδοτήσουν ξανά τους μη εκπληρωμένους πόρους τους των προηγούμενων γύρων. Δηλαδή εάν η τιμή της πλειοδοσίας ενός πλειοδότη δεν γίνει δεκτή στο γύρο της εφεδρείας ρύθμισης ο πλειοδότης μπορεί να πλειοδοτήσει ξανά στον γύρο της στρεφόμενης εφεδρείας. Επίσης έχει το δικαίωμα να αλλάξει την τιμή στον νέο γύρο. Στην ταυτόχρονη προσέγγιση οι πλειοδότες πλειοδοτούν όλες τις υπηρεσίες τους ταυτοχρόνως στον ISO. Ο τελευταίος θα εκκαθαρίσει την αγορά μέσω της επίλυσης ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Η αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση εξαρτάται από την αγορά και μπορεί να λαμβάνει υπ' όψιν την ελαχιστοποίηση του κοινωνικού κόστους, του κόστους εφοδιασμού κ.α.

(3) Αγορά Μεταφοράς(Transmission Market):

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελεί μια πλατφόρμα ανάπτυξης ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών για τη τροφοδότηση δικτύων διανομής και μεγάλων καταναλωτών. Το αγαθό που εμπορεύεται στην Αγορά Μεταφοράς είναι το δικαίωμα στη μεταφορά. Η σημασία του δικαιώματος είναι εμφανής σε περιπτώσεις μεγάλης συμφόρησης στην Αγορά Μεταφοράς. Ο πλειστηριασμός του δικαιώματος στη μεταφορά ελέγχεται από τον ISO και ο αντικειμενικός στόχος είναι να καθοριστούν εκείνες οι τιμές πλειοδοσίας που μεγιστοποιούν τις χρεώσεις του δικτύου. Ο αγοραστής του δικαιώματος υποχρεούται να γνωστοποιεί τη μέγιστη ποσότητα του δικαιώματος που διατίθεται να αγοράσει όπως και την τιμή της αγοράς και τα σημεία έγχυσης και απορρόφησης. Ομοίως ο πωλητής οφείλει να γνωστοποιήσει τη μέγιστη ποσότητα, τη τιμή πώλησης και τα σημεία.

Ο ρόλος του ISO είναι να διαχειρίζεται την αγορά με ασφαλή και αποδοτικό τρόπο και να επιτηρεί τις κύριες ενέργειες που λαμβάνουν χώρα. Αρχικά ο ISO πρέπει να διεξάγει πρόβλεψη φορτίου έτσι ώστε να εγγυηθεί την επάρκεια της παραγωγής για την κάλυψή του αλλά και την επάρκεια των επικουρικών υπηρεσιών για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας της όλης λειτουργίας. Επειδή οι βασικές οντότητες στην αγορά είναι οι εταιρίες παραγωγής, οι παραγωγοί στοχεύουν στην μεγιστοποίηση των κερδών τους. Γι αυτό το λόγο κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η πρόβλεψη των τιμών και του φορτίου μιας και αντανάκλα την κατάσταση της αγοράς. Πολλές φορές στην λειτουργία της αγοράς υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες όπως για παράδειγμα η ζήτηση και οι στρατηγικές των ανταγωνιστών παραγωγών. Η κυριαρχία της αγοράς είναι ένας όρος που χαρακτηρίζει μη ανταγωνιστικές πρακτικές. Φαινόμενα κυριαρχίας της αγοράς μπορούν να λάβουν χώρα εσκεμμένα ή συμπτωματικά. Για παράδειγμα όταν δεν υπάρχουν κατάλληλες μετρητικές διατάξεις αυτό συνεπάγεται ελλιπή πληροφορία σε σχέση με τη ζήτηση με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος παραγωγής σε περιπτώσεις περιόδους μεγάλης ζήτησης. Αυτό φυσικά είναι πιθανό να ωφελήσει συγκεκριμένους παραγωγούς οι οποίοι επικαλούμενοι την έλλειψη πόρων να οδηγήσουν την αύξηση των τιμών. Εσκεμμένη κυριαρχία της αγοράς μπορεί να συμβεί επίσης και όταν ο ιδιοκτήτης του δικτύου παρέχει παρεμφερείς πληροφορίες σε συγκεκριμένους παραγωγούς.

Εκτός από τους προαναφερθέντες τύπους αγορών υπάρχουν και οι εξής μηχανισμοί:

1) Προθεσμιακή Αγορά(Forward Market). Στις περισσότερες αγορές ηλεκτρισμού η προθεσμιακή αγορά επόμενης ημέρας εξυπηρετεί στον προγραμματισμό των πόρων για κάθε ώρα της επόμενης μέρας. Η προθεσμιακή επόμενης ώρας εξυπηρετεί για τη διευθέτηση των αποκλίσεων του προγραμματισμού της επόμενης ώρας

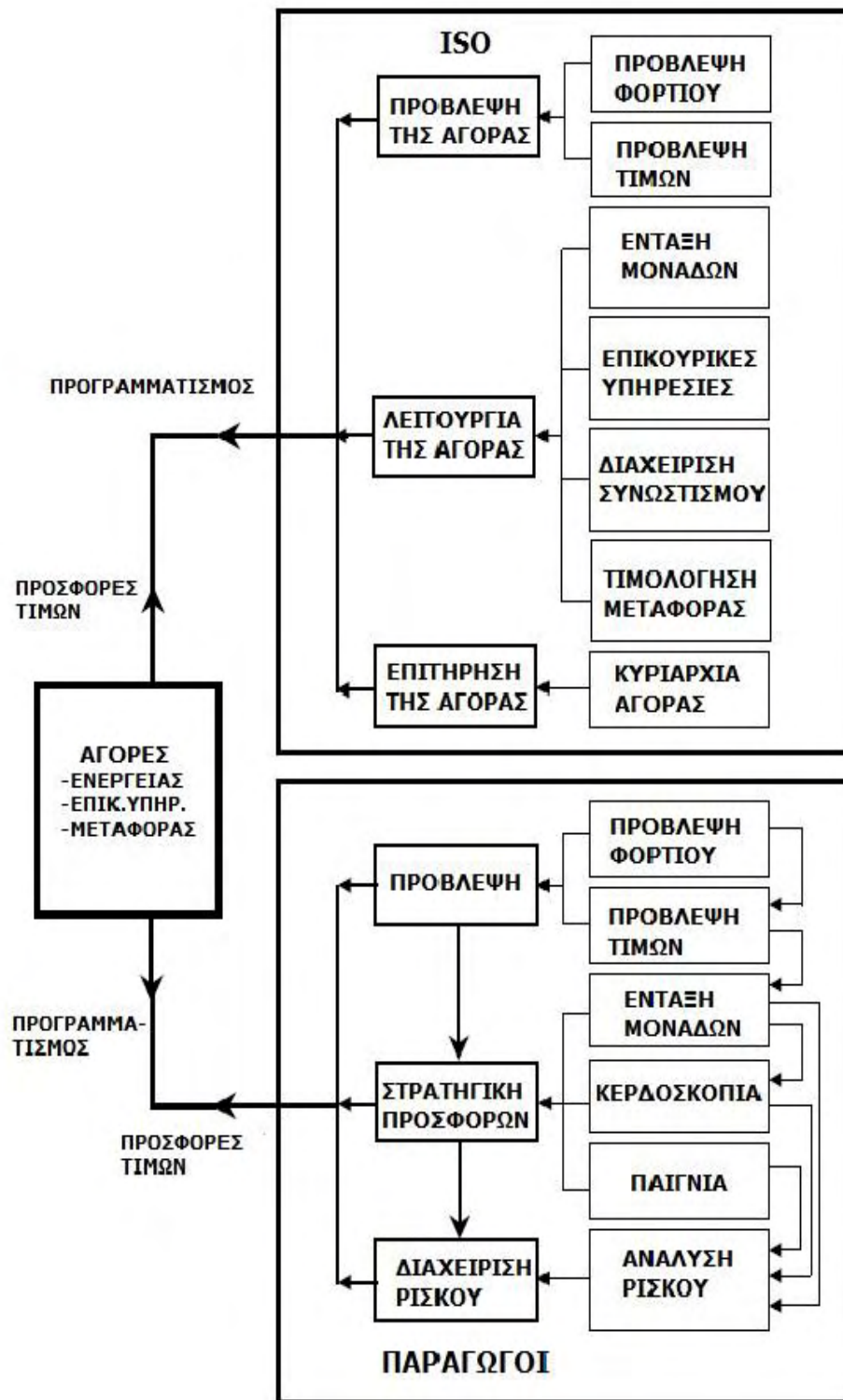
2) Αγορά Πραγματικού Χρόνου(Real-time Market)

Η απαίτηση για αξιοπιστία της αγοράς ενέργειας προϋποθέτει την εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν ωστόσο φορές που οι τιμές του πραγματικού χρόνου του φορτίου της παραγωγής και μεταφοράς διαφέρουν από τον προγραμματισμό της Προθεσμιακής Αγοράς. Έτσι, απαιτείται μια αγορά πραγματικού χρόνου για να καλύψει τις απαιτήσεις εξισορρόπησης. Η αγορά αυτή ελέγχεται από τον ISO. Η κατανομή των μονάδων σε πραγματικό χρόνο γίνεται από τον ISO και η αρχή περιλαμβάνει την μονάδα με την χαμηλότερη τιμή πλειοδοσίας. Εάν η παραγωγή ξεπεράσει τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν μειωμένες τιμές πλειοδοσίας. Η τιμή της αγοράς συνήθως υπολογίζεται ανά χρονικά διαστήματα 5 ή 10 λεπτών.

1.4 Συμμετέχοντες στην αγορά

Η νέα απελευθερωμένη αγορά έχει δημιουργήσει κατάλληλες συνθήκες και έχει εισάγει νέες οντότητες που λειτουργούν ανεξάρτητα. Οι νέες αυτές οντότητες της απελευθερωμένης αγοράς απαριθμούνται παρακάτω:

- **Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος(ISO):** Αυτός ελέγχει ουσιαστικά τη λειτουργία του δικτύου. Ο ISO είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση χρεώσεων του δικτύου, για τη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος, για τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης και για τον μακροπρόθεσμο προγραμματισμό του συστήματος. Ο ISO δρα αμερόληπτα και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες σε άλλες οντότητες της αγοράς.
- **Ρυθμιστική Αρχή(Regulation Authority):** Είναι αυτή που επιτηρεί την αγορά προάγει τον υγιή ανταγωνισμό, εισηγείται και εκδίδει πληροφορίες για την εύρωστη λειτουργία της αγοράς, είναι υπεύθυνη για σχετικές αδειοδοτήσεις, παρέχει συμβουλευτική στα όργανα χάραξης της ενεργειακής πολιτικής κ.
- **Εταιρείες Παραγωγής(Generation Companies):** Ο παραγωγός λειτουργεί μονάδες παραγωγής που τροφοδοτούν το δίκτυο, μεγάλους καταναλωτές ή εταιρίες διανομής. Οφείλουν να αξιολογούν από μόνοι τους τα διάφορα ρίσκα που σχετίζονται με την αγορά. Εκτός από την ενεργή ισχύ οι εταιρείες παραγωγής μπορούν να εμπορευτούν άεργη ισχύ και εφεδρείες λειτουργίας.



Σχήμα 1.1. Λειτουργία απελευθερωμένης αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας

Εταιρείες Μεταφοράς(Transmission Companies): Έχουν το ρόλο το ρόλο της κατασκευής, της ιδιοκτησίας, της λειτουργίας, και της συντήρησης του δικτύου μεταφοράς σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Παρέχουν τη μεταφορά του ηλεκτρισμού της χονδρεμπορικής αγοράς και τα έσοδά τους προέρχονται από τις χρεώσεις του δικτύου τους που το χρησιμοποιούν άλλες οντότητες και επιβαρύνονται για τη χρήση αυτή.

- **Εταιρείες Διανομής(Distribution Companies):** Μέσω των εγκαταστάσεων περιέχει την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μέσα σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Έχουν την υποχρέωση να ανταποκρίνονται σε θέματα ανεπάρκειας ηλεκτρισμού και θέματα αξιοπιστίας και είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά επίπεδα.
- **Εταιρείες Προμήθειας(Retail Companies):** Η προμήθεια του ηλεκτρισμού γίνεται από εταιρείες διανομής. Οι προμηθευτές είναι νεοσύστατες εταιρείες, αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από την χονδρεμπορική αγορά και την πουλάνε στους τελικούς καταναλωτές. Εκτός από τον ηλεκτρισμό παρέχουν και μια σειρά υπηρεσιών στον πελάτη.
- **Aggregator:** Είναι μια οντότητα που ομαδοποιεί διάφορους καταναλωτές σε ομάδες αγοραστές. Η ομάδα αγοράζει μεγάλα block ηλεκτρισμού και υπηρεσιών σε χαμηλότερη τιμή. Στην ουσία είναι ένας μεσολαβητής μεταξύ προμηθευτών και τελικών καταναλωτών. Όταν ένας Aggregator αγοράζει ηλεκτρισμό και τον πουλάει στους καταναλωτές δρα σας Προμηθευτής.
- **Καταναλωτές(Consumers):** Είναι συνδεδεμένοι απευθείας με το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης ή με την διανομή. Στην απελευθερωμένη αγορά έχει τη δυνατότητα ο καταναλωτής να επιλέξει τον προμηθευτή του ανεξάρτητα από τη γεωγραφική του θέση.

Η νομοθεσία της απελευθερωμένης αγοράς προβλέπει την ενεργό συμμετοχή των τελικών καταναλωτών στην αγορά. Η βιωσιμότητα και η κερδοφορία των προμηθευτών είναι άμεσα συνυφασμένες με τα καταναλωτικά πρότυπα. Η επιρροή της κατανάλωσης παρέχει μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως η ακριβής βραχύ- και μέσο- προθεσμη πρόβλεψη φορτίου, η αποδοτικότερη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής, η εξισορρόπηση παραγωγής και ζήτησης, η καθυστέρηση δημιουργίας νέων μονάδων που αντανακλούν το κόστος παραγωγής του ηλεκτρισμού κτλ.

1.5 Ελαχίστου-κόστους σχεδιασμό συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Απώτερος σκοπός του ολοκληρωμένου σχεδιασμού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών σε ενεργειακές υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται διάφορες προϋποθέσεις για την εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων. Ο σχεδιασμός στοχεύει κυρίως στο να καλυφθούν εθνικές και τοπικές ανάγκες για την ανάπτυξη, τη διατήρηση της αξιοπιστίας της παροχής του ηλεκτρισμού, την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, τη διάθεση του ηλεκτρισμού, τη διασφάλιση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και τη μείωση της εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα. Επειδή ο σχεδιασμός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ανήκει στο πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής μιας χώρας είναι δυνατόν αυτό να αλλάζει από χώρα σε χώρα, όμως οι βασικές επιδιώξεις είναι κοινές.

- Αξιόπιστες ενεργειακές υπηρεσίες
- Εξηλεκτρισμός της πλειοψηφίας των καταναλωτών και ιδιαίτερα των αναπτυσσόμενων χωρών
- Ελαχιστοποίηση των επιδράσεων στο περιβάλλον
- Ενεργειακή ασφάλεια. Περιορισμός των επιδράσεων διαφόρων παραγόντων που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπάρκεια ενέργειας.
- Ποικιλότητα στην παροχή της ενέργειας(ως προς τις κατηγορίες καυσίμων και ως προς τη γεωγραφική θέση των μονάδων)
- Ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, του περιβαλλοντικού κόστους, του κοινωνικού κόστους κτλ.
- Τοπική ανάπτυξη και οικονομική ανταγωνιστικότητα
- Εισαγωγή τεχνολογικών καινοτομιών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Ο σχεδιασμός του συστήματος επηρεάζεται από κοινωνικούς παράγοντες(δημογραφικοί δείκτες, βιοτικό επίπεδο κτλ), από οικονομικούς(ανταγωνισμός, εμπορικές δραστηριότητες) και από πολιτικούς(περιβαλλοντική πολιτική, εναρμόνιση της ενεργειακής πολιτικής με αυτή των διεθνών οργανισμών κτλ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Διαμόρφωση της τιμής της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον από δημόσιες κρατικές επιτροπές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενώ οι βιομηχανίες συνεχίζουν το σχεδιασμό για τη δημιουργία των έξυπνων δικτύων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ανά τον κόσμο δεν επιτρέπουν την αμφίδρομη σχέση με τον καταναλωτή ώστε να μπορεί να είναι ο ίδιος ρυθμιστής της κατανάλωσης ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του.

Μελέτες διαφόρων ερευνητικών ομάδων έδειξαν ότι το κόστος δεν κατανέμεται ισομερώς. Οι καταναλωτές οι οποίοι βρίσκονται υπό καθεστώς <<επίπεδης>> τιμολόγησης κατανάλωσαν περισσότερη ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής. Με τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης υπάρχει η δυνατότητα να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα με την ενίσχυση της οικονομικής αποδοτικότητας έχοντας σαν αποτέλεσμα την μείωση της ζήτησης σε ώρες αιχμής.

2.2 Ορισμός Δυναμικής Τιμολόγησης

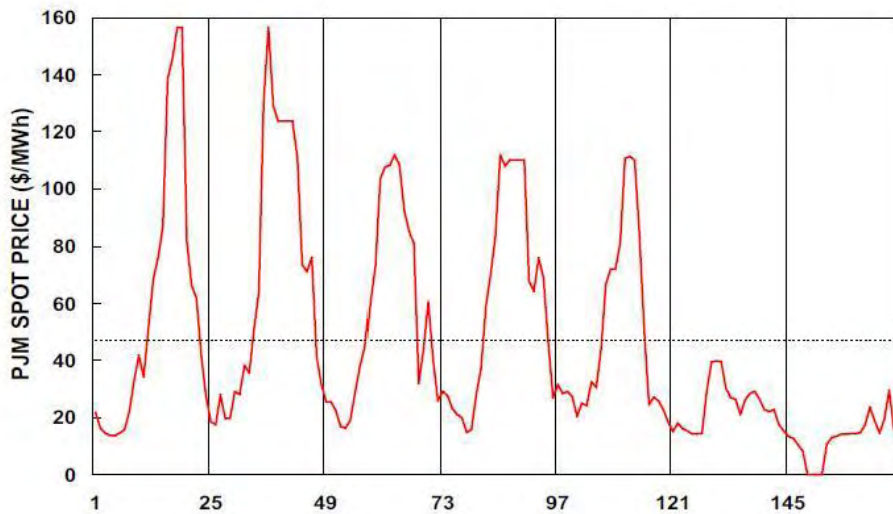
Με τον όρο Δυναμική Τιμολόγηση (dynamic pricing) εννοούμε την δυνατότητα που δίνει ο πάροχος στον πελάτη του, να τιμολογείται με μία τιμή που διαφέρει από ώρα σε ώρα, ενώ για κάθε 24ωρο οι τιμές ανακοινώνονται, οι τιμές ανακοινώνονται από μια μέρα έως και λίγες ώρες πριν. Για τον υπολογισμό αυτής λαμβάνεται υπόψη η τιμή στη χονδρική αγορά, το κόστος για την χρήση των δικτύων, το κέρδος του παρόχου και άλλες χρεώσεις. Με αυτό τον τρόπο οι καταναλωτές εκτίθενται στο ρίσκο της τιμής που διαμορφώνεται ανά ώρα αλλά γλιτώνουν τη χρέωση που θα τους επέβαλε ο πάροχός τους, εάν αναλάμβανε εκείνος να διαχειριστεί το ρίσκο αυτό. Με την μετάβαση σε δυναμικά τιμολόγια αναμένεται ότι κάποιοι καταναλωτές θα ωφεληθούν ενώ κάποιοι άλλοι θα χάσουν. Εκείνοι οι οποίοι θα χάσουν είναι αυτοί που πραγματοποιούν τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε ώρες αιχμής. Αντίθετα, εκείνοι οι οποίοι θα κερδίσουν είναι αυτοί που παρουσιάζουν τη λεγόμενη "επίπεδη" κατανάλωση δηλαδή δεν καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε ώρες αιχμής. Υπάρχουν και αυτοί οι οποίοι δεν έχουν ούτε όφελος ούτε ζημία γιατί το προφίλ κατανάλωσης ταυτίζεται με τη καμπύλη φορτίου (και κόστους) του συστήματος(υποθέτουμε ανασχεδιασμό τιμολογίων ουδέτερο ως προς τα συνολικά έσοδα του προμηθευτή).

2.3 Μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας

Επειδή υπάρχει μεγάλη αδυναμία των πελατών της λιανικής αγοράς και των φορτίων τους να συμμετέχουν στις αγορές, οι σύγχρονες ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές όσον αφορά τον ανταγωνισμό. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά μεταβάλλεται από ώρα σε ώρα συχνά ακόμα και κατά 30-50% μέσα σε μια μέρα. Οι λόγοι για τους οποίους η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει αυτή τη συμπεριφορά είναι οι εξής:

1. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει πολλές φορές ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. (Για παράδειγμα οι υδροηλεκτρικές μονάδες και εκείνες που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια έχουν κόστος κάτω των 10\$/MWh, ενώ το κόστος για μια συμβατική μονάδα ορυκτών καυσίμων ανέρχεται περίπου στα 100\$/MWh).
2. Το φορτίο του συστήματος μεταβάλλεται από ώρα σε ώρα.
3. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί με οικονομικό τρόπο γι αυτό το λόγο πρέπει να καταναλώνεται τη στιγμή που παράγεται.
4. Πολύ συχνά προκαλούνται ανισορροπίες μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης εξαιτίας συμβάντων όπως ξαφνική απώλεια μονάδων, του δικτύου ή ακραία φαινόμενα.
5. Η λειτουργία των μονάδων διέπεται από τεχνικούς περιορισμούς. Κάποιες φορές όταν το φορτίο είναι πολύ χαμηλό, η τιμή στην αγορά μηδενίζεται ή γίνεται ακόμα και αρνητική. Αυτό συμβαίνει διότι είναι οικονομικότερο να μείνει μια μονάδα σε λειτουργία παρά να κλείσει και να επαναλειτουργήσει αργότερα.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα που διαχειρίζεται η εταιρεία PJM interconnection για λογαριασμό κάποιων πολιτειών των ΗΠΑ για μία βδομάδα του Ιουλίου.



Σχήμα 2.1. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η τιμή μεταβάλλεται από τα 0\$/MWh στα 157 \$/MWh μέσα σε μία εβδομάδα. Η μέση τιμή της βρίσκεται στα 47\$/MWh αλλά με μία διασπορά στα 38\$/MWh. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται σε όλες τις αγορές αναπτυγμένων χωρών. Καθίσταται λοιπόν αναγκαίο για τις εταιρίες εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας να αναλαμβάνουν το ρίσκο αλλά και τη διαχείρισή του, το οποίο εμπεριέχεται σε τέτοιου είδους αγορές, μεταφέροντας το κόστος αυτό στον τελικό καταναλωτή.

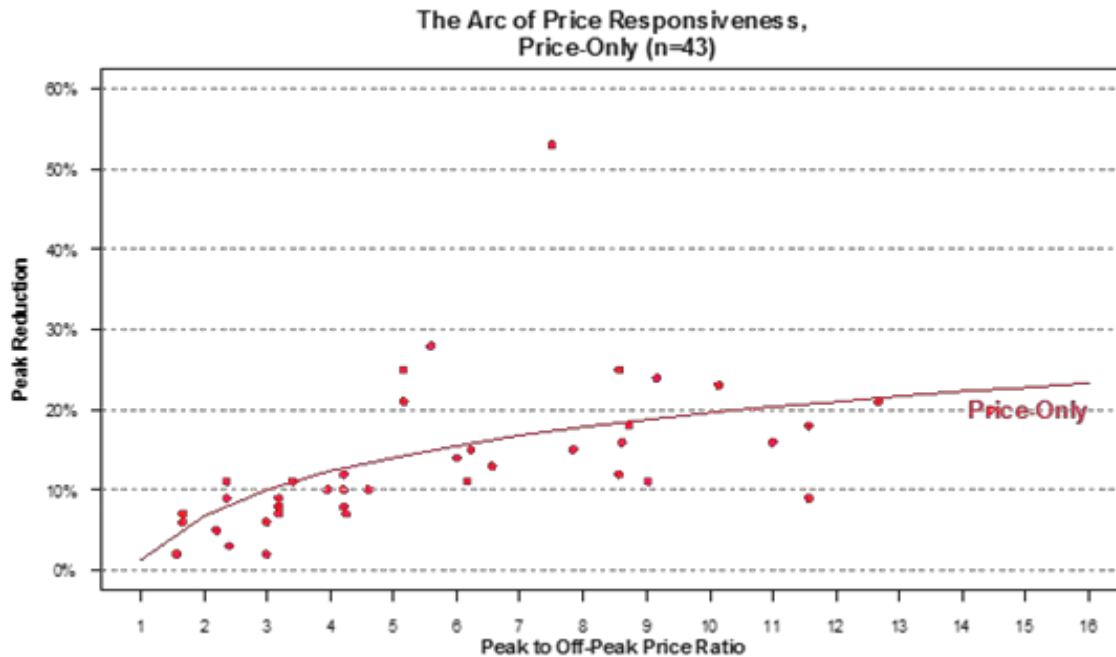
2.4 Δυναμική Τιμολόγηση στις ΗΠΑ

Μελετώντας την περίπτωση των ΗΠΑ η εφαρμογή της δυναμικής τιμολόγησης έχει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Ένα στα τρία νοικοκυριά έχει πλέον στο σπίτι του εγκατεστημένο έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως ο κ. Ahmad Faruqi είναι ακόμη απογοητευμένος γιατί μόνο το 1% των σπιτιών καταναλώνει ηλεκτρισμό εκμεταλλευόμενο τα έξυπνα τιμολόγια και σημειώνει ότι μόνο η μείωση της αιχμής στην κατανάλωση που επιφέρουν τα δυναμικά τιμολόγια μπορεί να δικαιολογήσει την τεράστια επένδυση σε έξυπνους μετρητές.

Ο κ. Faruqi έχει λάβει μέρος τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πιλοτικά προγράμματα στις ΗΠΑ με σκοπό να βρεθούν απαντήσεις στο ερώτημα κατά πόσο οι καταναλωτές χρησιμοποιούν τα δυναμικά τιμολόγια μειώνοντας την κατανάλωσή τους κατά τις ώρες αιχμής. Τα συμπεράσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα όπου φαίνεται η μείωση στην αιχμή που επετεύχθη σε σχέση με την διαφορά τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

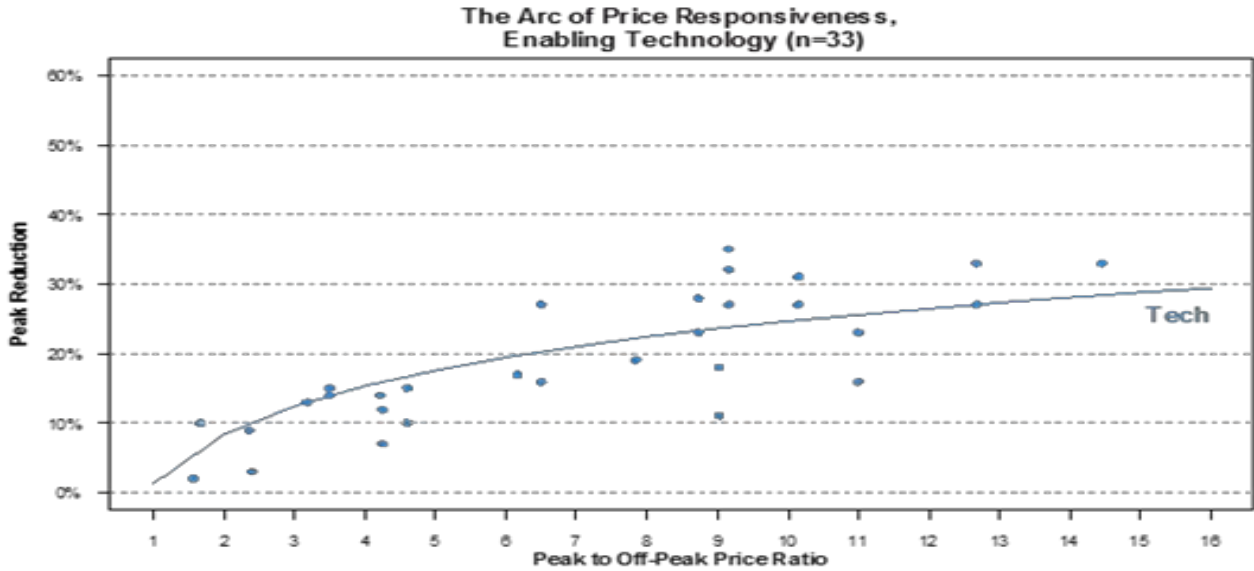
1. Όταν δίδεται στους καταναλωτές ισχυρό μήνυμα μέσω των τιμών ανταποκρίνονται μειώνοντας την αιχμή της ζήτησής τους

2. Όσο πιο ισχυρό είναι το μήνυμα τόσο πιο μεγάλη είναι η απόκριση σε μείωση της ζήτησης στην αιχμή.
3. Η αύξηση της ανταπόκρισης αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό ακολουθώντας μια ασυμπτωτική καμπύλη κορεσμού παρά μια ευθεία.



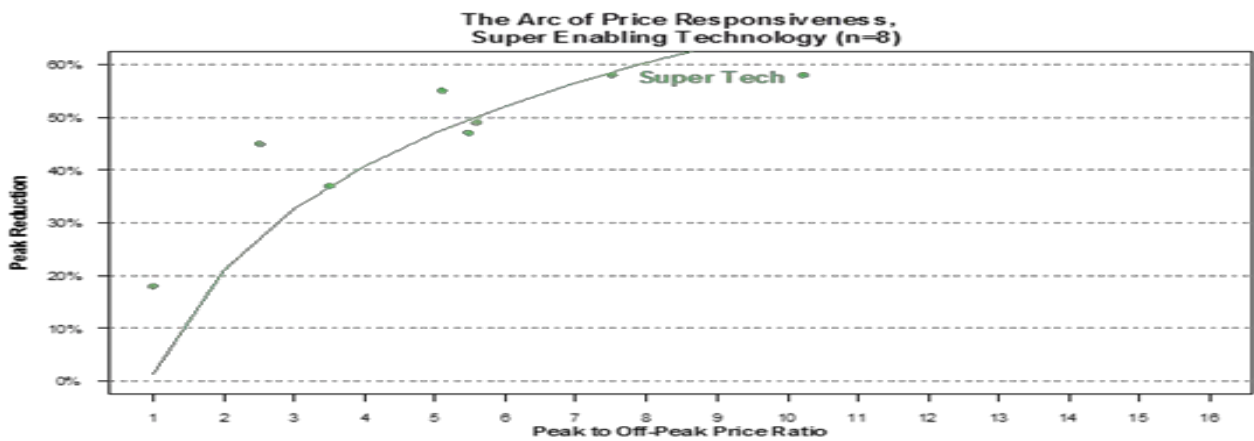
Σχήμα 2.2. Μείωση της αιχμής σε σχέση με την διαφορά τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας (έρευνα Ahmad Faruqi)

Όταν υπήρχε αυτόματη απόκριση των καταναλωτών με χρήση κάποιας τεχνολογίας, όπως έξυπνους θερμοστάτες, η καμπύλη αυξάνονταν ακόμη περισσότερο δείχνοντας έτσι ακόμη μεγαλύτερη ευαισθησία στις δυναμικές τιμές.



Σχήμα 2.3. Τα αποτελέσματα της έρευνας με χρήση κάποιας τεχνολογίας

Τέλος υπήρχαν και κάποια πιλοτικά προγράμματα στα οποία χρησιμοποιούνταν ακόμη πιο εξελιγμένη τεχνολογία και συνεπώς η εφαρμογή των δυναμικών τιμολογίων είχε εξαιρετικά υψηλή επίπτωση.



Σχήμα 2.4. Αποτελέσματα της έρευνας με χρήση εξελιγμένης τεχνολογίας

2.5 Δυναμική τιμολόγηση σε συνδυασμό με έξυπνα δίκτυα και έξυπνους μετρητές

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή, αλλά σχεδόν πάντα συνδέεται με τη χονδρική αγορά. Σε πολλές αγορές επίσης υπάρχει άμεση σύνδεση της χονδρικής αγοράς με τη λιανική.

Όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλές όπως για παράδειγμα κατά τους μήνες που η θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα υψηλή, οι καταναλωτές καλούνται να μειώσουν την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας διευκολύνοντας περισσότερο το σύστημα για την εξυπηρέτηση όλων του των φορτίων.

Η έννοια του έξυπνου δικτύου συνήθως συνεπάγεται ένα συνδυασμό τεχνολογιών ελέγχου, συστημάτων πληροφοριών και διανομής πληροφοριών που επιτρέπουν πολύ λεπτότερο έλεγχο όλων των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο μεγαλύτερο μηχανήμα του κόσμου. Αυτό περιλαμβάνει καλύτερη παρακολούθηση των ροών του δικτύου, και διανομής, παρακολούθηση κατάσταση και βλάβης, σε πραγματικό χρόνο, αυτόματη ανάγνωση μετρητών, και κυρίως αυτοματοποίηση σε πραγματικό χρόνο των συσκευών τελικής χρήσης. Η εξέλιξη του έξυπνου δικτύου θα είναι ιδιαίτερα σημαντική στην ανάπτυξη διασκορπισμένης παραγωγής, τελικής χρήσης και διαχείρισης φορτίων. Αυτό σε συνδυασμό, με την ανάπτυξη που έχουν σημειώσει οι έξυπνοι μετρητές που ενσωματώνονται στα έξυπνα δίκτυα όπως και το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον που παρουσιάζεται για προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης, που θα αναλυθούν παρακάτω υποδεικνύουν τη ραγδαία ανάπτυξη που θα έχουν οι παραπάνω αλλαγές στις αγορές της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα σήματα τιμών είναι αυτά που προσφέρουν τις περισσότερες επιλογές στους καταναλωτές και μπορούν να σταλούν μέσα από διάφορους μηχανισμούς όπως είναι η δυναμική τιμολόγηση με βάση τις τιμές λιανικής και τα προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης. Μέσω των σημάτων τιμών οι καταναλωτές μπορούν να επιλέξουν είτε να εξοικονομήσουν χρήματα μειώνοντας από μόνοι τους την κατανάλωση τις ώρες αιχμής, είτε μελλοντικά λόγω της ανάπτυξης της αυτόματης διαχείρισης των οικιακών συσκευών να αγοράσουν ενέργεια σε μεταβλητές τιμές.

Στην δυναμική τιμολόγηση είναι μειωμένη η διαφορά ανάμεσα στο κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της τιμής που πληρώνουν οι καταναλωτές και αυτό γιατί οι τιμές λιανικής που δίνονται στους καταναλωτές αντανακλούν τα μεταβλητά κόστη της χονδρικής αγοράς. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι δυναμικής τιμολόγησης, κάποιες από τις οποίες είναι η ωριαία τιμολόγηση (hourly pricing) και η ημερήσια τιμολόγηση (daily pricing).

Η ωριαία τιμολόγηση είναι η πιο ευέλικτη και ακριβής μέθοδος τιμολόγησης, αφού οι τιμές λιανικής προς τους καταναλωτές ποικίλουν κάθε ώρα. Οι τιμές αυτές ανακοινώνονται μια μέρα ή μια ώρα πριν και στις παραδοσιακές αγορές αντανακλούν το οριακό κόστος

παραγωγής και συμπεριλαμβάνουν χρεώσεις χρήσης συστήματος και δικτύου. Λόγω της αβεβαιότητας, που οφείλεται στη μεταβλητότητα του οριακού κόστους και των τιμών της χονδρικής αγοράς ενέργειας, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν το ρίσκο που αναλαμβάνουν υπογράφοντας συμβόλαια με εγγυημένες σταθερές τιμές για κάποια συγκεκριμένη ποσότητα του φορτίου τους.

Στην ημερήσια τιμολόγηση οι τιμές είναι καθορισμένες μέσα σε επιμέρους περιόδους χρόνου, αλλά η τιμή για τουλάχιστον μια περίοδο μεταβάλλεται καθημερινά. Αυτή η τιμή ανακοινώνεται συνήθως μια μέρα πριν.

2.5 Κυριότεροι παράγοντες τις τιμές

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη λιανική αγορά αποτελείται από δύο παράγοντες οι οποίοι όμως θα έπρεπε να τιμολογούνται ξεχωριστά

- το προϊόν "ηλεκτρικό ρεύμα"
- την προστασία του καταναλωτή από τη μεταβλητότητα της τιμής στη χονδρική αγορά.

Οι πελάτες θα έπρεπε να έχουν την ευκαιρία να παρακολουθούν αυτές τις τιμές. Με αυτό τον τρόπο η αγορά γίνεται πιο ανταγωνιστική, οικονομικά πιο αποτελεσματική, τα δίκτυα πιο ασφαλή και σταθερά ενώ παράλληλα μειώνονται και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το να έχει ο καταναλωτής τη δυνατότητα να επιλέξει μέσα από μια πληθώρα τιμολογιακών πολιτικών είναι κάτι σημαντικό για τον πραγματικό ανταγωνισμό. Μπορεί να επωφεληθεί με δύο τρόπους:

- Να μην πληρώνει για την προστασία από την μεταβλητότητα της τιμής, αφού πλέον θα είναι και αυτός εκτεθειμένος σε αυτήν.
- Να ρυθμίζει την κατανάλωσή του ανάλογα με τα επίπεδα των τιμών, δηλαδή να μειώνει το φορτίο του όταν οι τιμές είναι αυξημένες και αντιστρόφως.

Οι καταναλωτές που ρυθμίζουν το φορτίο τους με βάση τις μεταβολές της τιμής βοηθούν και στον περιορισμό του μεγέθους των αιχμών της ως επακόλουθο της μειωμένης παραγωγής των μονάδων στις ώρες αιχμής, όπου το σύστημα είναι συνήθως πιεσμένο. Μάλιστα τις μειώσεις στις τιμές αυτές απολαμβάνουν όλοι οι καταναλωτές και όχι μόνο εκείνοι που ρυθμίζουν την κατανάλωσή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Διαχείριση και απόκριση της Ζήτησης

3.1 Ορισμός Εννοιών

Η ανάγκη να αντιμετωπιστούν πολλά ζητήματα του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες, οδήγησε στην έννοια του DSM. Αυτά τα ζητήματα περιλαμβάνουν την ραγδαία αύξηση της ζήτησης της ενέργειας, την εξάρτηση και την αβεβαιότητα των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων, την επίδραση στο περιβάλλον και την ανάγκη διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο όρος πρωτοεμφανίστηκε το 1973 για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης στις ΗΠΑ και καθιερώθηκε από το EPRI το 1986.

Η έννοια της απόκρισης της ζήτησης αναφέρεται σε μεταβολές της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές ως απόκριση σε διακυμάνσεις της τιμής του ηλεκτρισμού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Επιπλέον, αναφέρεται σε πληρωμές κινήτρων σχεδιασμένων να επιφέρουν μείωση της κατανάλωσης σε περιόδους υψηλού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή ως απόκριση σε σήματα που αποστέλλονται από τους αρμόδιους φορείς όταν η τιμή της ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή ή όταν κινδυνεύει η αξιοπιστία του συστήματος. Περιλαμβάνει όλες τις σκόπιμες τροποποιήσεις της κατανάλωσης ηλεκτρισμού που στοχεύουν σε μετατόπιση της κατανάλωσης από ώρες αιχμής σε περιόδους που η ζήτηση είναι χαμηλή, ή σε μείωση του επιπέδου της μέγιστης ζήτησης χωρίς αντιστάθμιση σε ώρες εκτός αιχμής. Δηλαδή έχουμε μετατόπιση των αιχμών ζήτησης της και υπέρθεση τους ώστε να προκύψει μια όσο γίνεται πιο ομαλή και συμφέρουσα από πλευρά κόστους παραγωγής καμπύλη ζήτησης.

Η διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management DSM) αναφέρεται σε μέτρα και δράσεις που αποσκοπούν στον έλεγχο, τη διαμόρφωση και τη μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης. Τα προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης στοχεύουν στην χρησιμοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας πιο αποτελεσματικά έτσι ώστε να αποφευχθεί ή έστω να καθυστερήσει η εγκατάσταση νέων σταθμών παραγωγής και η περαιτέρω επέκταση των δικτύων μεταφοράς. Περιλαμβάνουν προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας, προγράμματα απόκρισης της ζήτησης, προγράμματα υποκατάστασης καυσίμου και προγράμματα διαχείρισης φορτίου για εμπορικούς και οικιακούς καταναλωτές. Το DSM μέσα από όλες αυτές τις δραστηριότητες για μεταβολή της ποσότητας ή/και της χρονικής στιγμής της κατανάλωσης αποφέρει οφέλη για τις εταιρίες παροχής, τους καταναλωτές και γενικά το κοινωνικό σύνολο

3.2 Είδη απόκρισης της ζήτησης

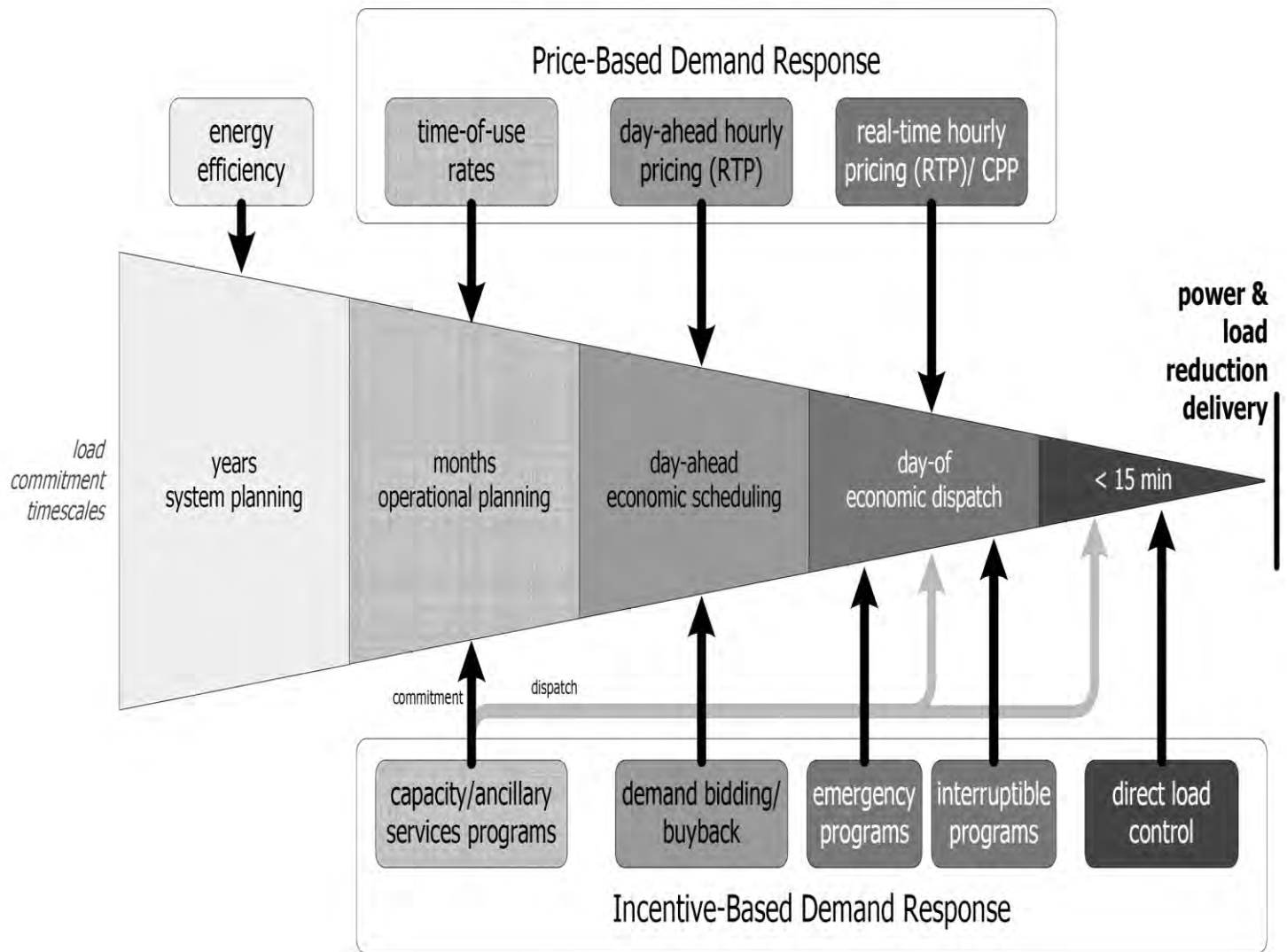
Η απόκριση ζήτησης μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το πως μεταβάλλεται το φορτίο:

- **Απόκριση της ζήτησης με βάση την τιμή (Price-based demand response):**

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται σύμφωνα με τις μεταβολές στο κόστος που καταβάλλεται προκειμένου να παραχθεί. Τα προγράμματα που προσβλέπουν σε απόκριση της ζήτησης βασιζόμενα στην τιμή, χρησιμοποιούν μεταβαλλόμενες τιμές, αντί μιας σταθερής τιμής που μένει αμετάβλητη για μεγάλο χρονικό διάστημα και αντιπροσωπεύει το μέσο κόστος της παραγωγής ενέργειας. Με τη συμμετοχή τους οι καταναλωτές μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα, καταναλώνοντας τις ώρες της ημέρας που επικρατούν χαμηλές τιμές και μειώνοντας την κατανάλωση τις ώρες που επικρατούν υψηλές τιμές.

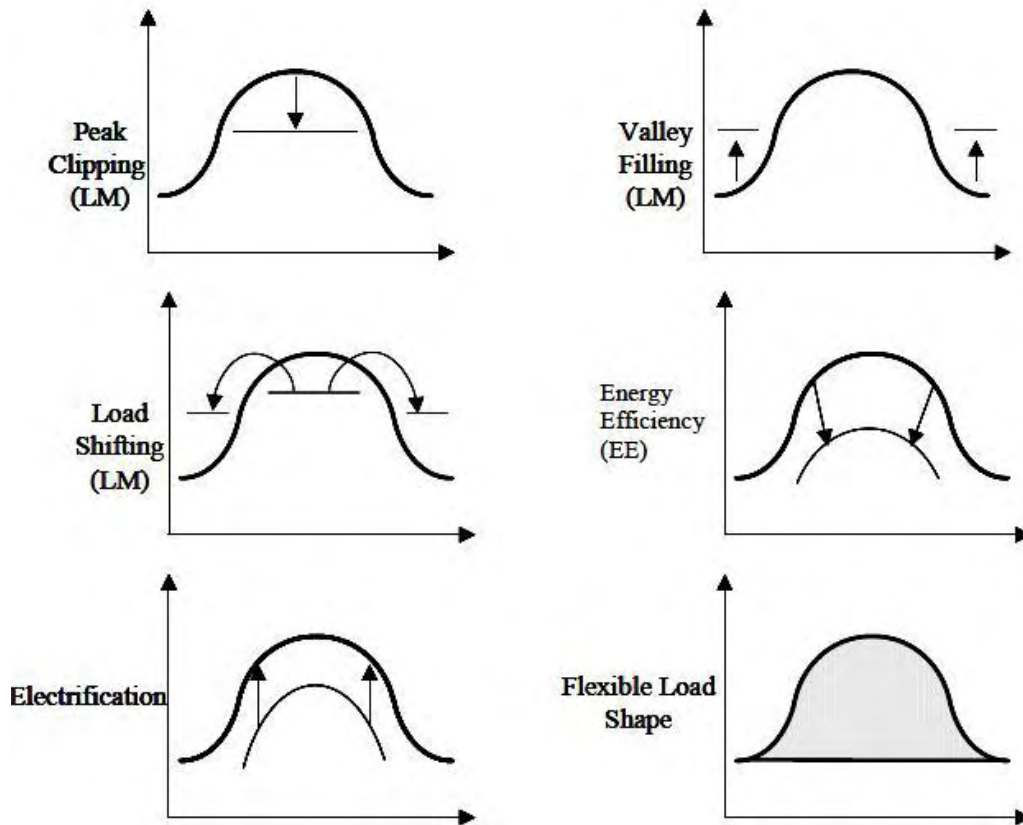
- **Απόκριση ζήτησης βάσει κινήτρων:**

Τα προγράμματα αυτά παρέχουν στους πελάτες κίνητρα μείωσης του φορτίου. Δηλαδή δίνεται στους καταναλωτές το κίνητρο να αλλάξουν την συμπεριφορά τους ως προς τον τρόπο που καταναλώνουν την ενέργεια και έχουν τη μορφή πίστωσης στο λογαριασμό τους ή και την αποδοχή πληρωμής ανάλογα με την μείωση που καταφέρουν να πετύχουν στην κατανάλωσή τους. Υπάρχουν φορές ωστόσο που οι χρήστες που εντάσσονται σε ένα τέτοιο πρόγραμμα να δεχθούν επιπλέον οικονομική επιβάρυνση όταν παρεκκλίνουν από τον συμφωνηθέντα στόχο.



Σχήμα 3.1. Ένταξη της διαχείρισης της ζήτησης στο σχεδιασμό ενός ΣΗΕ

3.3 Στρατηγικές διαχείρισης της Ζήτησης



Σχήμα 3.2. Διαφορετικές καμπύλες φορτίου ανάλογα με τη μέθοδο DSM

Υπάρχουν 6 βασικές τεχνικές διαχείρισης της ζήτησης οι οποίες μεταβάλλουν την καμπύλη του φορτίου.

Peak Clipping ή Peak Shaving:

Μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής με άμεσο έλεγχο του φορτίου.

Valley Filling:

Αποσκοπεί σε αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης με σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος του συστήματος. Τα συγκεκριμένα προγράμματα αύξησης του φορτίου αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση σε συγκεκριμένες περιόδους προωθώντας οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες που λειτουργούν κυρίως σε περιόδους χαμηλής ζήτησης

Load Shifting:

Ονομάζεται μετατόπιση του φορτίου και έχει να κάνει με την μετακίνηση της κατανάλωσης από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη. Η μετατόπιση του φορτίου στοχεύει στην μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής και ταυτόχρονα σε αύξηση της ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.

Energy Efficiency:

Αποσκοπεί στη γενική μείωση του φορτίου και όχι απαραίτητα σε περιόδους αιχμής, μέσω της μείωσης της κατανάλωσης και της χρήσης ενεργειακά αποδοτικότερου εξοπλισμού.

Electrification:

Στοχεύει σε γενική αύξηση της ζήτησης.

Flexible Load Shape:

Σχετίζεται με την ευελιξία που παρουσιάζει το φορτίο ώστε αυτό να μπορεί να ανταποκριθεί κατάλληλα σε επείγουσες καταστάσεις.

3.4 Προγράμματα διαχείριση της Ζήτησης

Απόκριση Βάσει τιμής

Τα προγράμματα που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία είναι:

- **Τιμολόγηση βάσει της ώρας χρήσης(Time-of-Use):**

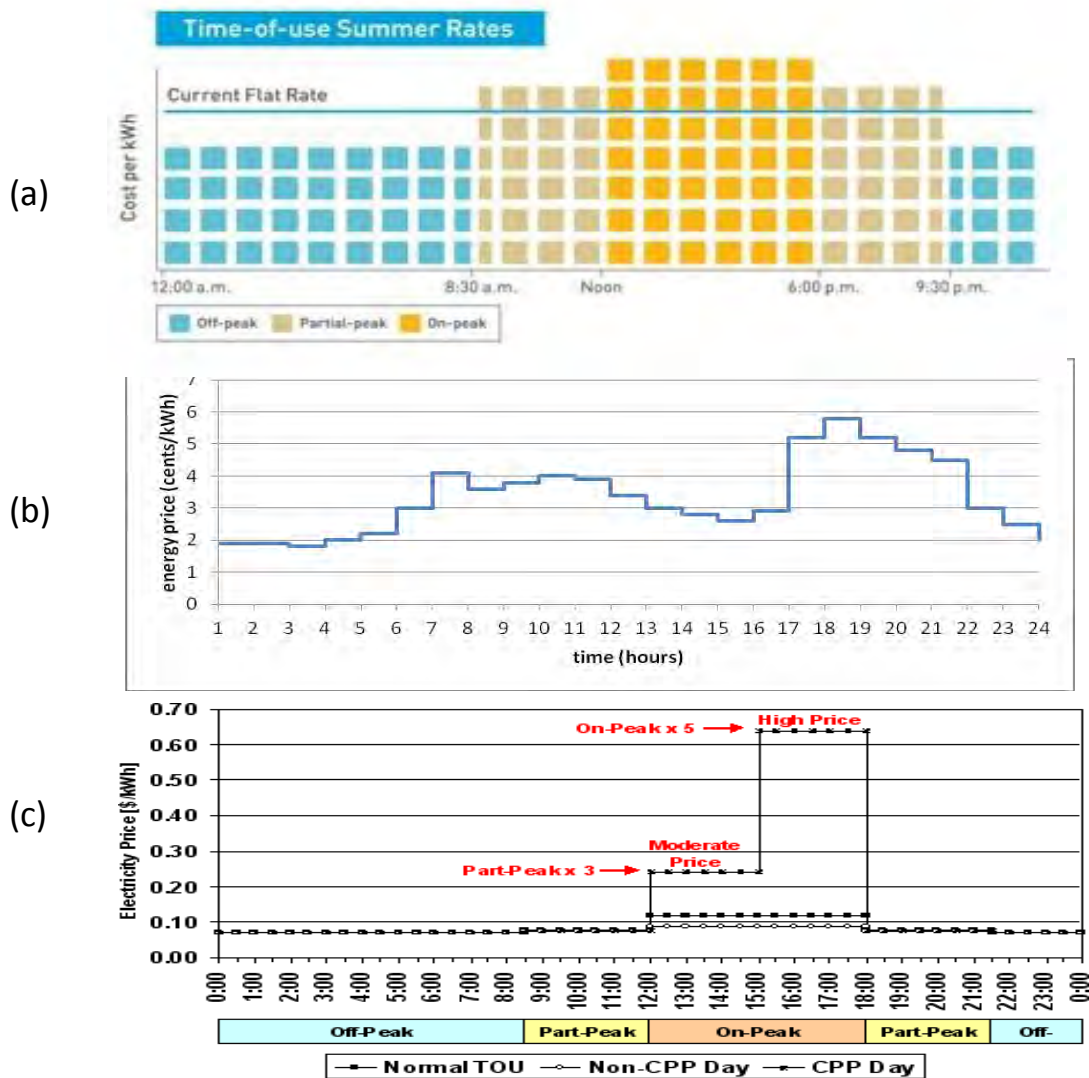
Στο πρόγραμμα αυτό η ημέρα χωρίζεται σε τμήματα στα οποία η ενέργεια τιμολογείται διαφορετικά. Η τιμολόγηση αντικατοπτρίζει το μέσο κόστος της παραγωγής και μεταφοράς της ενέργειας και μπορεί να μείνει αμετάβλητη για διάστημα μηνών. Τέτοιου είδους προγράμματα είναι ευρέως διαδεδομένα είναι απαραίτητη όμως η εγκατάσταση εξοπλισμού για τη μέτρηση του μέσου φορτίου που καταναλώνεται σε κάθε τμήμα της ημέρας.

- **Real Time Pricing (RTP):**

Παρέχει στους καταναλωτές τις ωριαίες τιμές ενέργειας είτε μια μέρα πριν (day ahead) ή σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (near real-time), ανάλογα με το είδος του προγράμματος. Οι τιμές αυτές καθορίζονται κυρίως από την τρέχουσα αγορά ενέργειας.

- **Τιμολόγηση κρίσιμης αιχμής(Critical Peak Pricing- CPP):**

Καθορίζεται υψηλή τιμολόγηση της κατανάλωσης για μια περίοδο κατά την οποία ο πάροχος έχει ορίσει ως κρίσιμη αιχμή. Αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στην εμφάνιση κινδύνων για την ευστάθεια του συστήματος είτε στο αυξημένο κόστος για την απόκτηση των απαραίτητων πόρων για την παραγωγή. Σε σχετικά σύντομο διάστημα πριν τεθεί σε ισχύ η τιμολόγηση, υπάρχει σχετική ενημέρωση των πελατών. Οι πελάτες συνήθως λαμβάνουν έκπτωση στο λογαριασμό για τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα.



Σχήμα 3.3. (α) Πρόγραμμα διαχείρισης της ζήτησης με Time-of-Use,(b) Πρόγραμμα διαχείρισης της ζήτησης με RTP, (c) Πρόγραμμα διαχείρισης της ζήτησης με CPP.

Απόκριση βάσει κινήτρων

Η απαρίθμηση των προγραμμάτων απόκριση της ζήτησης βάσει κινήτρων είναι:

- **Άμεσος έλεγχος στο φορτίο(Direct load control (DLC))**
Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα επωφελούνται με μειώσεις στους λογαριασμούς τους. Ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επέμβει με διακοπή της λειτουργίας του οικιακού εξοπλισμού που επιβαρύνει το σύστημα σε περίοδο που απειλείται η εύρυθμη λειτουργία του. Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται κυρίως σε οικιακούς καταναλωτές.
- **Προγράμματα περικοπής/διακοπής(Curtailable/Interruptible Programs):**
Είναι προγράμματα αποκοπής φορτίου. Οι συμμετέχοντες απολαμβάνουν την έκπτωση ή πίστωση στο λογαριασμό τους εφόσον συμφωνήσουν στη μείωση της κατανάλωσης σε κάποιο όριο. Αν όμως υπάρχουν αποκλίσεις από το συμφωνηθέν όριο αναμένεται να υποστούν ποινές που φαίνονται με τη μορφή αύξησης στο λογαριασμό τους. Απευθύνονται σε εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές οι οποίοι καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας.
- **Προγράμματα χωρητικότητας της αγοράς(Capacity Market):**
Προσφέρονται κυρίως σε καταναλωτές οι οποίοι μπορούν να εγγυηθούν μια συγκεκριμένη μείωση του φορτίου σε κρίσιμες καταστάσεις. Συνήθως η ενημέρωση των καταναλωτών γίνεται μια μέρα πριν. Αν οι πελάτες όμως δεν ανταποκριθούν τότε υπόκεινται σε αυστηρές ποινές.
- **Προγράμματα έκτακτης ανάγκης(Emergency DR Programs)**
Όταν το σύστημα εμφανίζει μειωμένη αξιοπιστία οι συμμετέχοντες στο δίκτυο δέχονται πληρωμές εφόσον μετρηθεί μείωση της κατανάλωσής τους και για όσο το σύστημα βρίσκεται σε κίνδυνο, συμβάλλοντας έτσι στην αποφόρτισή του.
- **Προγράμματα αγοράς επικουρικών υπηρεσιών(Ancillary services market):**
Δίνεται η δυνατότητα οι πελάτες να προσφέρουν στους διαχειριστές του συστήματος περικοπή του φορτίου. Εφόσον οι προσφορές γίνουν αποδεκτές πληρώνονται στην τιμή της αγοράς ώστε να βρίσκονται σε ετοιμότητα σε περίπτωση που χρειαστεί η αποκοπή του συμφωνηθέντος φορτίου.

3.5 Οφέλη από τη Διαχείριση της Ζήτησης

Οικονομικά Οφέλη

Περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση κόστους στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος των πελατών. Αυτό μπορεί να προκύψει από τη χρήση λιγότερης ενέργειας όταν οι τιμές είναι υψηλές ή από τη μετατόπιση της χρήσης σε ώρες με χαμηλότερες τιμές καθώς και από τυχόν σαφείς οικονομικές πληρωμές που λαμβάνει ο πελάτης για να συμφωνήσει ή να περιορίσει πραγματικά τη χρήση σε μια ζήτηση προγράμματος απόκρισης.

Πλεονεκτήματα αξιοπιστίας

Αφορούν το μειωμένο κίνδυνο να δημιουργηθεί απώλεια υπηρεσιών σε περίπτωση που γίνει διακοπή του ρεύματος και αποτρέπουν τη ζήτηση να φτάσει σε ακραία επίπεδα σε περίπτωση που πολλές μονάδες τελούν υπό συντήρηση. Όσον αφορά την εφεδρεία του συστήματος όσο μειώνεται το φορτίο στις ώρες αιχμής μειώνεται και η απαραίτητη ισχύς που προορίζεται για εφεδρεία. Επίσης η εφεδρεία του συστήματος μπορεί να επανέλθει στο επίπεδο που βρίσκονταν πριν την εμφάνιση του απροσδόκητου συμβάντος

Πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη

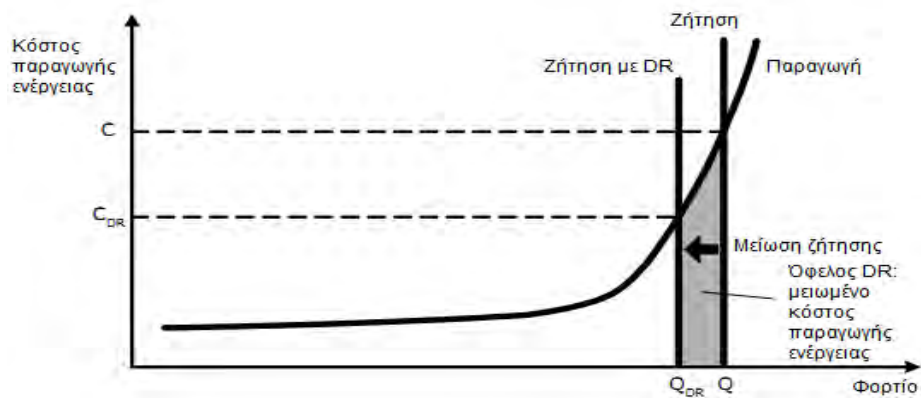
Η ανταπόκριση στη ζήτηση μπορεί να προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη μειώνοντας τις εκπομπές των μονάδων παραγωγής κατά τις περιόδους αιχμής. Ωστόσο, εφιστάται προσοχή ώστε οι εκπομπές που αποφεύγονται τις ώρες αιχμής να μην καταλήγουν μικρότερες από αυτές κατά τη λειτουργία τις υπόλοιπες ώρες ή κατά την παραγωγή ενέργειας από τους ίδιους τους καταναλωτές, σε ιδιόκτητες εγκαταστάσεις, στο πλαίσιο της απόκρισης της ζήτησης

Οικονομικά οφέλη σε επίπεδο αγοράς:

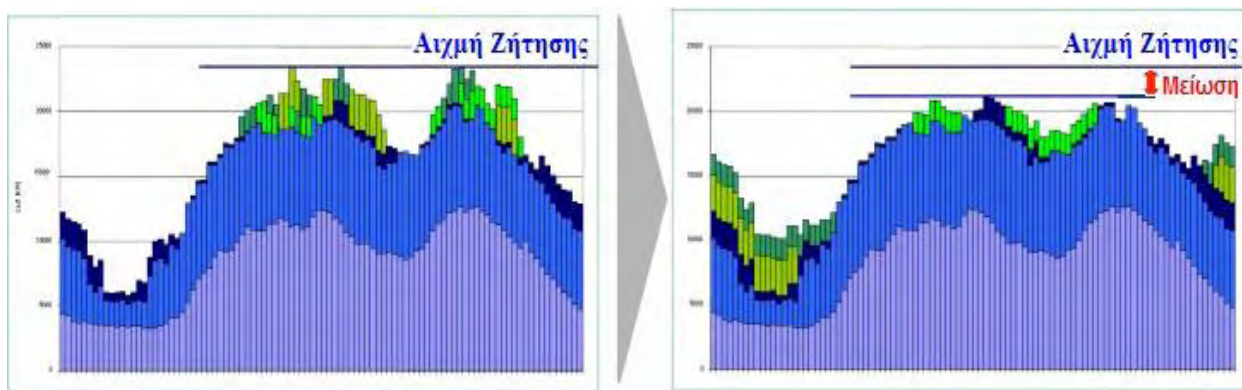
Τα οικονομικά οφέλη σε επίπεδο αγοράς είναι οι χαμηλότερες τιμές χονδρικής αγοράς που προκύπτουν επειδή η ανταπόκριση στη ζήτηση αποτρέπει την ανάγκη χρήσης των πλέον δαπανηρών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων διαφορετικής υψηλής ζήτησης, οδηγώντας το κόστος παραγωγής και τις τιμές κάτω για όλους τους χονδρεμπόρους ηλεκτρικής ενέργειας.

Οφέλη από την απόδοση της αγοράς:

Αναφέρεται στην αξία που έχει η απόκριση της ζήτησης στην στον μετριασμό της ικανότητας των προμηθευτών να ασκούν την ισχύ της αγοράς αυξάνοντας τις τιμές της ενέργειας σημαντικά υψηλότερες από το κόστος παραγωγής.



Σχήμα 3.6. Οι τιμές της ενέργειας αυξάνονται υψηλότερα από το κόστος παραγωγής



Σχήμα 3.7. Μείωση/εξομάλυνση των αιχμών ή μετάθεση φορτίου

Κεφάλαιο 4ο

Ενεργειακό Διαδίκτυο-Energy Internet

4.1 Κύρια χαρακτηριστικά του Energy Internet

Η αύξηση της τιμής ενέργειας και ο περιορισμός των ορυκτών καυσίμων καθιστά αναπόφευκτη την τάση να εισάγεται στο μέλλον η διανεμημένη ενέργεια όπως για παράδειγμα η ανανεώσιμη ενέργεια στο ήδη υπάρχον σύστημα παροχής, στο μέλλον. Το έξυπνο δίκτυο αναμένεται να είναι ένα είδος ενεργειακού διαδικτύου μέσω του οποίου η ενέργεια θα μπορούσε να συσκευαστεί και να παραδοθεί σε διαφορετικές διευθύνσεις σε όλους τους ενεργειακούς διακόπτες, τους δρομολογητές και τις πύλες. Αυτό το ενεργειακό διαδίκτυο αποφασίζει την καλύτερη πορεία εξετάζοντας πληροφορίες όπως καταστάσεις φορτίου ή πληροφορίες για τις τιμές ή ακόμα και την προμήθεια κατάστασης σε μια τοπική περιοχή για να επιτύχει καλύτερη εμπειρία χρήστη με την ελαχιστοποίηση της απώλειας και τη μεγιστοποίηση της ωφέλειας. Το ενεργειακό δίκτυο είναι ανοιχτό και ομότιμο. Επιτρέπει στους καταναλωτές να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Θεωρείται ένα έξυπνο δίκτυο από την πλευρά των πληροφοριών και των τεχνολογιών που ενσωματώνει.

1. Ενεργειακές λύσεις βασισμένες στο Διαδίκτυο

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας επόμενης γενιάς πρέπει να αποτελεί η διαχείριση της ενέργειας μέσω του δικτύου. Με τη βοήθεια νέων τεχνολογιών και αισθητήρων που βασίζονται στο internet επιτυγχάνεται η παρακολούθηση του έξυπνου δικτύου και από την πλευρά της παραγωγής και από την πλευρά της κατανάλωσης. Το ενεργειακό δίκτυο συνδέει την κατανεμημένη παραγωγή, την αποθήκευση ενέργειας και τα φορτία για να κατασκευάσει ένα ενεργειακό δίκτυο που με ροές πληροφορίας και ροές ισχύος ταυτόχρονα και αμφίδρομα.

2. Προληπτικός έλεγχος βάσει πληροφοριών.

Ο προληπτικός έλεγχος των πληροφοριών αποτελείται από δύο μέρη

- α) την πρόβλεψη των μελλοντικών καταστάσεων
- β) την έξυπνη λήψη αποφάσεων με βάση την πρόβλεψη

Ο συνδυασμός των τεχνικών δικτύου και ο προληπτικός έλεγχος μας δίνουν μια πολλά υποσχόμενη λύση της πρόβλεψης λειτουργίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ο προληπτικός έλεγχος θέτει τον έλεγχο προώθησης της ροής ενέργειας

στη στρατηγική διανομής ενέργειας. Θα μπορούσε να έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα στη βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και των ζητημάτων ασφάλειας, διότι ο έλεγχος της διανομής ισχύος μπορεί να φέρει χαμηλότερο κόστος συντήρησης, υψηλότερη αξιοπιστία και σημαντική μείωση της υστέρησης.

3. Έλεγχος ανάδρασης βάσει διαλειτουργικότητας

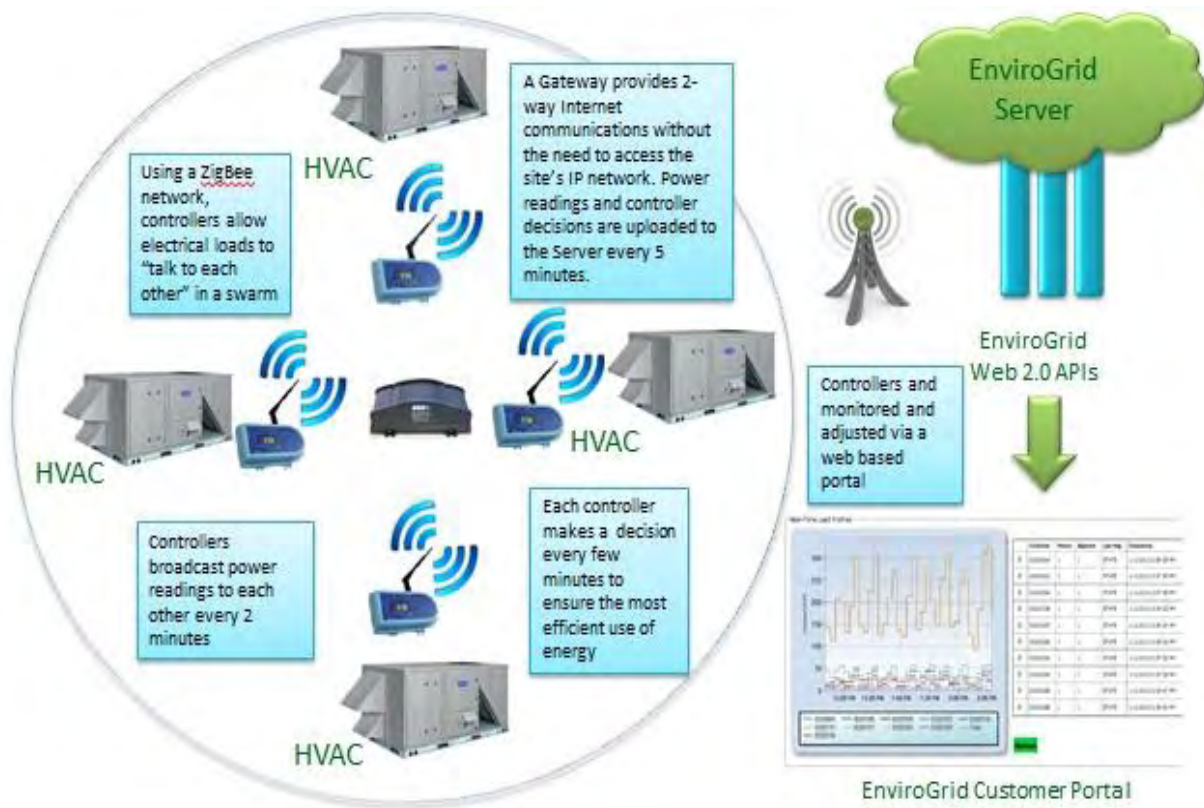
Η διαλειτουργικότητα παρέχει στις συσκευές σε ένα ενεργειακό διαδίκτυο την ικανότητα να αναγνωρίζουν ο ένας τον άλλον. Οι συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να έχουν πρόσβαση σε άλλες πληροφορίες της κατάστασης της συσκευής και να στέλνουν εντολές για να ξεκινήσουν μια ροή ενέργειας κατόπιν ζήτησης τοπικών ενεργειακών απαιτήσεων.

4. Δικτυωμένη κατανεμημένη παραγωγή

Είναι σημαντικό εκτός από τις απομονωμένες μονάδες κοντά στον καταναλωτή να λειτουργεί και ένα περιφερειακό σύστημα για την διανομή της ισχύος. Η σύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής με αυτό τον τρόπο δημιουργεί πολλά τεχνικά, εμπορικά και θέματα ασφαλείας, επίσης απαιτεί την προσαρμογή της διακύμανσης της κατανάλωσης ανάλογα με τις διακυμάνσεις της προσφοράς και τις μεταβλητές τιμές ενέργειας.

5. Αποθήκευση ενέργειας

Η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και να βοηθήσει στη διατήρηση της σταθερής λειτουργίας του συστήματος. Για άλλη μια φορά, έχει τη λειτουργία της ενεργειακής ανάπτυξης, η οποία θα μπορούσε να βοηθήσει στην επίτευξη μέγιστης ισχύος και ισχύος εξόδου εάν χρειαστεί. Εκτός αυτού, χωρίς αποθήκευση ενέργειας, δεν υπάρχει ενεργειακό buffer για την ισχύ εξόδου τοπικά στο δίκτυο, με το οποίο τα δίκτυα μπορούν να εκπληρώσουν τη λειτουργία της αυτο-θεραπείας όταν συμβεί μια διακοπή ρεύματος. Εάν η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ευρέως στο δίκτυο με κατανεμημένο τρόπο και να κυκλοφορήσει φτηνά και αποτελεσματικά όταν απαιτείται, θα ενισχύσει την ευρωστία του ενεργειακού δικτύου.



Εικόνα 4.1. Ενεργειακό Δίκτυο (Energy Internet)

4.2 Χαρακτηριστικά του ενεργειακού δρομολογητή

Η αρχιτεκτονική του ενεργειακού δρομολογητή θα πρέπει βασικά να συνθέτει τρεις μονάδες, όπως συσκευές ηλεκτρονικής ισχύος, μονάδα επικοινωνιών και κέντρο πληροφοριών, για να επιτευχθεί η λειτουργία της διασύνδεσης πληροφοριών, της διανομής ενέργειας και της παρακολούθησης της κατάστασης του συστήματος. Στόχοι του ενεργειακού δρομολογητή είναι :

- **Διανομή ενέργειας**

Η λειτουργία της ενεργειακής εξισορρόπησης είναι υποχρεωτική. Για παράδειγμα η ηλεκτρική ενέργεια, εάν παράγεται τεράστιο δυναμικό πέρα από την ανάγκη των τοπικών υφιστάμενων καταναλωτών, ο δρομολογητής ενέργειας θα μπορούσε να στείλει την πλεονασματική ισχύ στο δίκτυο για τη χρήση της γειτονιάς. Αντίθετα, ο δρομολογητής μπορεί να εισαγάγει ενέργεια για το τοπικό δίκτυο όταν η τοπική παραγωγή ενέργειας είναι ανεπαρκής. Απαιτούνται ειδικές υπηρεσίες για την παροχή

ποσοτικής τιμής ενέργειας ανάλογα με εξωτερικούς λόγους όπως ο καιρός, το ποσό της ζήτησης ή της προσφοράς.

- **Έξυπνη διαχείριση ενέργειας**

Οι απαιτήσεις των χρηστών ποικίλλουν συνεχώς, έτσι οι δρομολογητές ενέργειας πρέπει να παρακολουθούν τις αλλαγές κατάστασης για να προσαρμόζουν δυναμικά τη διανομή ενέργειας. Επιπλέον, ο δρομολογητής είναι σε θέση να παρέχει πρόβλεψη ελέγχου ροής ενεργειακού ρεύματος σύμφωνα με τα ιστορικά πρότυπα χρήσης όπως η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνει σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- **Ρύθμιση και διαχείριση δικτύων**

Ο ενεργειακός δρομολογητής παρέχει την πλατφόρμα για την υλοποίηση της διαχείρισης του δικτύου. Οποιοσδήποτε τύπος προμηθευτή ενέργειας, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καταναμημένες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας ή τα φορτία μπορούν να έχουν πρόσβαση στο τοπικό δίκτυο αφού εκχωρηθεί σε αυτές πρώτα μια IP διεύθυνση.

Ο δρομολογητής ενέργειας συνδέει όχι μόνο τους προμηθευτές, αλλά και τους καταναλωτές για να διατηρήσουν εξισορρόπηση ισχύος. Επίσης ο ενεργειακός δρομολογητής συνδέει και άλλους δρομολογητές με αυτόν. Ο δρομολογητής ενέργειας θα μπορούσε να δείξει την υπεροχή του συνδέοντας τη γειτονική καταναμημένη παραγωγή για να συνθέσει ένα τοπικό δίκτυο για την εξισορρόπηση και το συντονισμό της παροχής ισχύος και της ζήτησης ισχύος. Κάτω από αυτή την κατάσταση, η πλεονάζουσα ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

4.4 Αρχιτεκτονική του Energy Internet

Το ενεργειακό διαδίκτυο είναι μια καινοτομία ενεργειακής υποδομής και έχει τα χαρακτηριστικά της ανοιχτότητας και των ομότιμων μέσω αυτού επίσης επιτυγχάνεται και η συγχώνευση των ενεργειακών ροών και των ροών πληροφοριών. Οι ευφυείς διακόπτες επικεντρώνονται στον έλεγχο πρόσβασης των χρηστών. Σύμφωνα με την ανάπτυξη του Διαδικτύου πληροφορίας, κάθε συσκευή που βρίσκεται στο διαδίκτυο μπορεί να είναι ο δρομολογητής ενέργειας που παίζει το ρόλο του πομπού και του δέκτη ενέργειας.

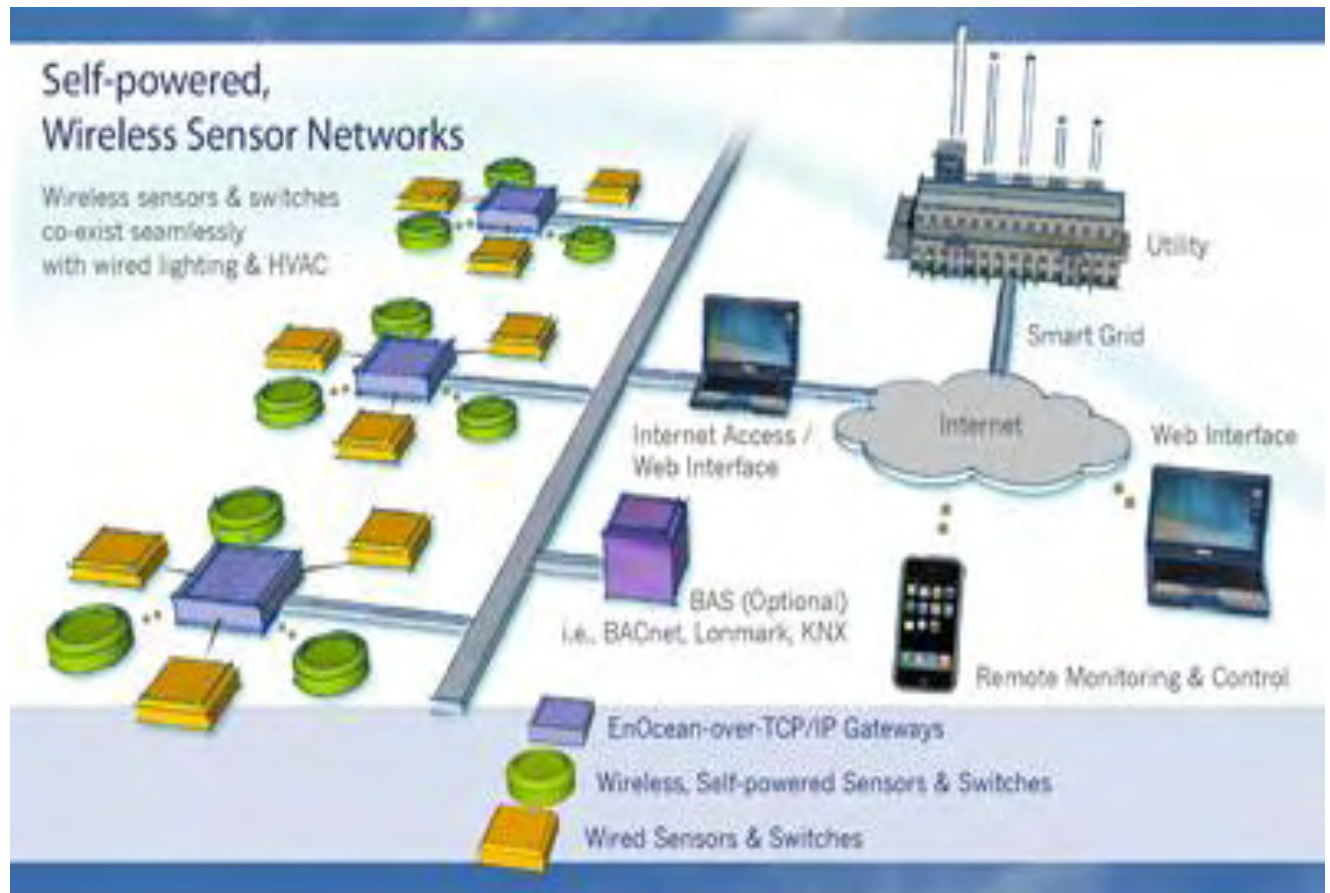
Το σχήμα που θα δούμε παρακάτω δείχνει την υποδομή του διαδικτύου ενέργειας. Υπάρχουν πέντε επίπεδα σε αυτήν την αρχιτεκτονική που θα μπορούσαν να επιτύχουν την προσέγγιση "από τη βάση προς την κορυφή" του μηχανισμού διαχείρισης. Το κυριότερο χαρακτηριστικό αυτής της δομής είναι η εφαρμογή ενεργειακών δρομολογητών. Η δικτύωση των ιεραρχικών

ενεργειακών δρομολογητών και η δρομολόγηση της ενέργειας αποτελούν τη θεμελιώδη και ειδική αρχή της λειτουργίας. Η εισαγωγή των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας σπάει το συγχρονισμό μεταξύ παραγωγών ισχύος και φορτίων. Αυτή η διαδικασία ελέγχου εκτελείται ως buffer δικτύου στο διαδίκτυο, ο οποίος αποσυνδέει τον πομπό και τον δέκτη. Όλα αυτά χρειάζονται δρομολογητές ενέργειας για τη διεξαγωγή και το συντονισμό. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και η παροχή ενέργειας είναι ενσωματωμένα για τον κατανεμημένο έλεγχο και τη συνεχή ανταπόκριση των σημάτων τιμών και της πλεονάζουσας ισχύος. Η στρατηγική παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι βασισμένη στην αιχμή και στη χειρότερη περίπτωση θα αλλάξει και θα αφορά περισσότερο τις μέσες απαιτήσεις. Στο σημερινό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, οι μέγιστες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται κατά μέσον όρο και μεταφέρονται εξίσου σε όλους τους καταναλωτές, η κατάσταση αυτή δεν θα συμβεί στο διαδίκτυο.

Το ενεργειακό διαδίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί ως διαδικτυακό δίκτυο WAN για τις πληροφορίες και την ενέργεια. Με την ενσωμάτωση της πληροφορίας και της ενέργειας επιτυγχάνεται αμφίδρομη ροή και δυναμική εξισορρόπηση της ενέργειας. Οι πηγές ενέργειας μπορούν να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν με άλλες πηγές ή ακόμη και με τους καταναλωτές της ενέργειας. Καθιστά έτσι, ανοιχτή την ανάπτυξη της ενεργειακής υποδομής και την αποτελεσματική κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 4.2. Energy Internet



Εικόνα 4.3.Ενεργειακό Δίκτυο (Energy Internet)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

5.Εικονικός Προϋπολογισμός (VB)

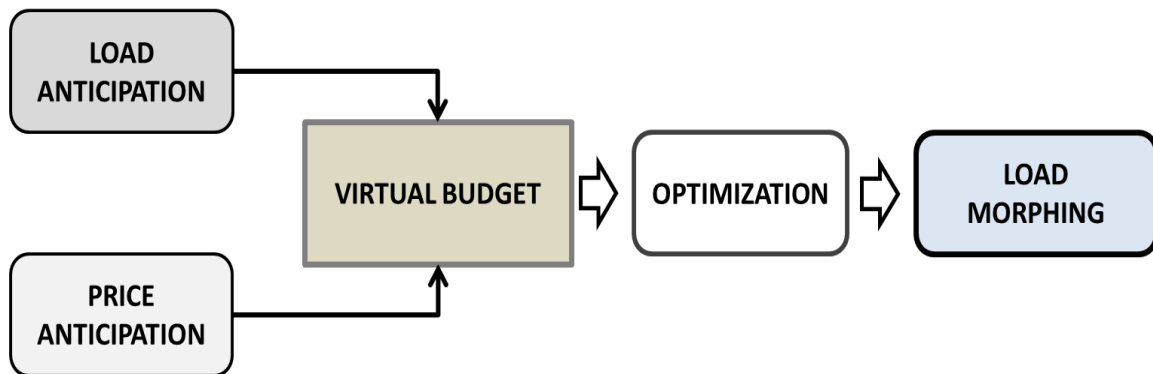
5.1 Πως λειτουργεί το Virtual Budget

Στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας η διαθεσιμότητα της ισχύς είναι προγραμματισμένη ώστε να ικανοποιείται η μέγιστη ζήτηση. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν δυναμικά και με σημαντική μεταβλητότητα, με τρόπο που οι τιμές έχουν ανέβει καθώς η απόσταση μεταξύ διαθέσιμης ισχύς και μέγιστης ζήτησης έχουν μειωθεί. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη μορφοποίηση του φορτίου. Έτσι η πρόβλεψη του φορτίου και πιο πρόσφατα η πρόβλεψη των τιμών είναι βασικές τεχνολογίες για τους συμμετέχοντες στην αγορά, καθώς βελτιστοποιεί τις αποφάσεις τους σχετικά με την απόκριση στη ζήτηση και συνεπώς μεγιστοποιεί τα κέρδη τους.

Γι αυτό το λόγο έχει αναπτυχθεί μια προσέγγιση που ονομάζεται εικονικός προϋπολογισμός(Virtual Budget). Η μέθοδος αυτή ταιριάζει την πρόβλεψη του φορτίου και την πρόβλεψη της τιμής και έτσι επιτρέπει μια αυτοματοποιημένη μορφοποίηση στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας του χρήστη. Αυτό το επιτυγχάνει μέσω έξυπνων προγραμματιστικών αλγορίθμων.

Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος του εικονικού προϋπολογισμού ενσωματώνει το φορτίο και την τιμή της πρόβλεψης με τη δυναμική βελτιστοποίηση προκειμένου να τροποποιήσει το αρχικό σχέδιο του φορτίου. Το αναμενόμενο φορτίο ενσωματώνεται στο προγραμματισμένο φορτίο μέσω δύο παραμέτρων. Η μία παράμετρος είναι ουσιαστικά για το συνολικό φορτίο που ο χρήστης είναι πρόθυμος να ακυρώσει και η άλλη για την ομοιότητα του βελτιστοποιημένου φορτίου με την αναμενόμενη τιμή. Το φορτίο βελτιστοποιείται με βάση έναν προϋπολογισμό κατανάλωσης που ορίζεται από τον χρήστη με μια τρίτη παράμετρο.

Το Virtual Budget ενσωματώνεται σε έξυπνους μετρητές και στοχεύει κυρίως στην ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης παρέμβασης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτόν το στόχο τον επιτυγχάνει καθώς επιτρέπει στους καταναλωτές να εισάγουν τρεις μεταβλητές που εκφράζουν τη στρατηγική της συναλλαγής και τη ζώνη της οικονομικής τους άνεσης και ακολουθεί έναν ανθρώπινο τρόπο σκέψης για να φτάσει όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέγιστο κόστος που ο καταναλωτής έχει εισάγει στην είσοδό του.



Σχήμα 5.1. Απεικόνιση λειτουργίας του Virtual Budget

5.2 Πρόβλεψη Φορτίου

Έχει εντοπιστεί ότι υπάρχουν τέσσερις τύποι πρόβλεψης φορτίου σε σχέση με τον ορίζοντα πρόβλεψης του χρόνου, δηλαδή πολύ-βραχυπρόθεσμα, βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα πρόβλεψη φορτίου. Σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας οι συμμετέχοντες σε αυτό έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν το φορτίο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και συνεπώς να σχεδιάσουν μια συγκεκριμένη στρατηγική αγοράς ή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συμμετέχων σε ένα δίκτυο καλείται να προβλέψει την κατανάλωση του φορτίου του όταν ανακοινωθεί η λιανική τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Μορφοποίηση του αρχικού φορτίου θα γίνει (αναλόγως περιστολή ή μετατόπισή του) εάν η ανακοινωθείσα τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι έξω από τη ζώνη άνεσης που ο ίδιος ο συμμετέχων έχει ορίσει.

Η μέθοδος του εικονικού προϋπολογισμού είναι εφαρμόσιμη σε οποιοδήποτε μήκος ορίζοντα πρόβλεψης(πολύ-βραχυπρόθεσμα,βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα, μακροπρόθεσμα). Εδώ, θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη, καθώς οι τιμές ανακοινώνονται κάθε μία ώρα. Η έξοδος της μονάδας πρόβλεψης του φορτίου είναι ουσιαστικά η αναμενόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την ώρα i . Άρα το συνολικό ποσό των αναμενόμενων κατά τη διάρκεια της μέρας είναι η άθροιση

$$TL = \sum_{i=1}^I AL_i.$$

5.3 Πρόβλεψη της τιμής

Σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι συμμετέχοντες σε αυτό να μπορούν να προβλέψουν εκτός από το φορτίο που αναφέραμε προηγουμένως και την τιμή. Χρησιμοποιώντας την πρόβλεψη της τιμής οι συμμετέχοντες μπορούν να ελαχιστοποιήσουν περισσότερο τα έξοδά τους στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρόβλεψη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει είκοσι τέσσερις τιμές, οι οποίες εκφράζονται ως AP_i , $i = 1, \dots, 24$, με το AP_i να αντιπροσωπεύει την αναμενόμενη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας την ώρα i της ημέρας. Από την άλλη, η ανακοίνωση της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται στην αρχή και η τιμή παραμένει σταθερή για την επόμενη ώρα άρα συνολικά σε όλη την ημέρα υπάρχουν 24 ανακοινώσεις τιμών.

5.4 Αναλυτική Προσέγγιση της Μεθόδου (VB)

Αν θέλουμε να προσεγγίσουμε περισσότερο τη μέθοδο του Εικονικού προπολογισμού θα δούμε ότι ο VB είναι στην ουσία το εσωτερικό γινόμενο μεταξύ μορφοποιημένου φορτίου και προβλεπόμενης τιμής, το άθροισμα δηλαδή από σημείο σε σημείο του πολλαπλασιασμού μεταξύ του προβλεπόμενου φορτίου και της προβλεπόμενης τιμής.

Δηλαδή: $AL_i = NR_i + AE_i$.

Στη παραπάνω τώρα σχέση το προβλεπόμενο φορτίο μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες σε μια ανελαστική συνιστώσα NR_i και σε μια ελαστική συνιστώσα AE_i . Αξίζει να σημειωθεί ότι το ελαστικό τμήμα του φορτίου είναι δυνατόν να επαναπρογραμματιστεί με σκοπό τη μείωση του λογαριασμού του χρήστη. Αντίθετα, το ανελαστικό τμήμα αναφέρεται στην ελάχιστη υποχρεωτική κατανάλωση η οποία δεν μπορεί να ακυρωθεί ή να μεταβληθεί.

Η συνολική ποσότητα του ελαστικού φορτίου δίνεται από τη σχέση:

$$TE = \sum_{i=1}^I AE_i = \sum_{i=1}^I (AL_i - NR_i).$$

Η ποσότητα E_i εισάγεται για να δεξει την ελαστική ποσότητα του φορτίου που έχει προγραμματιστεί.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δύο είναι οι στόχοι της βελτιστοποίησης του ελαστικού φορτίου:

1. Ένα μεγάλο μέρος του ελαστικού φορτίου είναι προγραμματισμένο
2. Το βελτιστοποιημένο ελαστικό φορτίο διατηρεί την κατανομή του προβλεπόμενου ελαστικού φορτίου κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Ειδικά για την επίτευξη του δεύτερου στόχου η σχέση που συνδέει τις παραμέτρους $\{AE_i\}_{i=1}^I$

και $\{E_i\}_{i=1}^I$ είναι η εξής
$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^I AE_i \cdot E_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^I AE_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^I E_i^2}}$$

Στη μέθοδο του εικονικού προυπολογισμού εισάγονται δύο νέες παράμετροι η β η οποία ορίζει το ποσό του φορτίου που θα ακυρωθεί και η γ η οποία χαρακτηρίζει την ομοιότητα του προγραμματισμένου φορτίου με το αναμενόμενο φορτίο, και με αυτό τον τρόπο επηρεάζει το ποσοστό του φορτίου που μπορεί να μετατοπιστεί. Η παράμετρος γ , πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για να χαμηλώσει ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του βελτιστοποιημένου ελαστικού φορτίου και του επιθυμητού αναμενόμενου. δηλαδή, ο περιορισμός $\rho \geq \gamma$ προστίθεται. Η παράμετροι β και γ κινούνται στο διάστημα $[0,1]$.

Οι δύο αυτοί παράμετροι στην πράξη δηλώνουν τη στρατηγική που ακολουθούν οι συμμετέχοντες στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο VB επιβάλλει ένα ανώτατο όριο U_i για το συνολικό φορτίο σε κάθε θυρίδα χρόνου $NR_i + E_i \leq U_i$.

Μεταβάλλοντας αυτές τις δύο παραμέτρους μορφοποιείται κατάλληλα και το φορτίο. Για παράδειγμα:

$$VB = \min \quad \sum_{i=1}^I (NR_i + E_i) \cdot AP_i \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i=1}^I E_i \geq \beta \cdot TE$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^I E_i^2} \leq \frac{1}{\gamma \sqrt{\sum_{i=1}^I AE_i^2}} \sum_{i=1}^I AE_i \cdot E_i$$

$$NR_i + E_i \leq U_i \quad (i = 1, \dots, I)$$

$$E_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, I)$$

Variables

$$E_i \quad (i = 1, \dots, I).$$

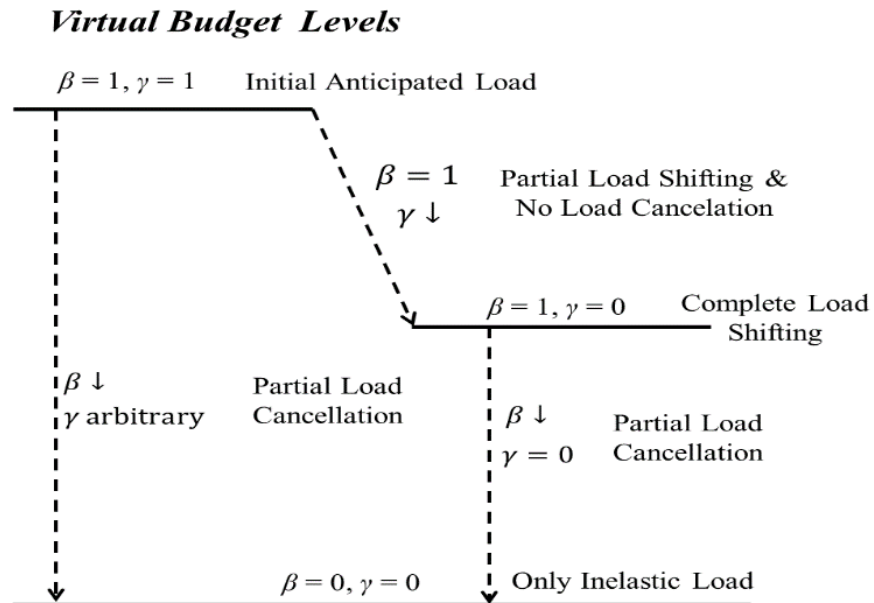
για $\beta=1, \gamma=1$ έχω την αρχική πρόβλεψη του φορτίου

για $\beta=1, 0<\gamma<1$ δηλώνει τη μετατόπιση του φορτίου και το μετατοπιζόμενο φορτίο δηλώνεται από τη μεταβλητή γ

για $\beta=1, \gamma=0$ σε αυτή την περίπτωση δεν έχω ακύρωση του φορτίου και υποδηλώνει τη μετατόπιση χωρίς να γίνεται διατήρηση του αναμενόμενου ελαστικού φορτίου.

για $0<\beta<1, \gamma=1$ σε αυτή τη περίπτωση έχω μερική ακύρωση του φορτίου και δεν έχω μετατόπιση

για $\beta=0, \gamma=0$ έχω πλήρη ακύρωση του ελαστικού φορτίου



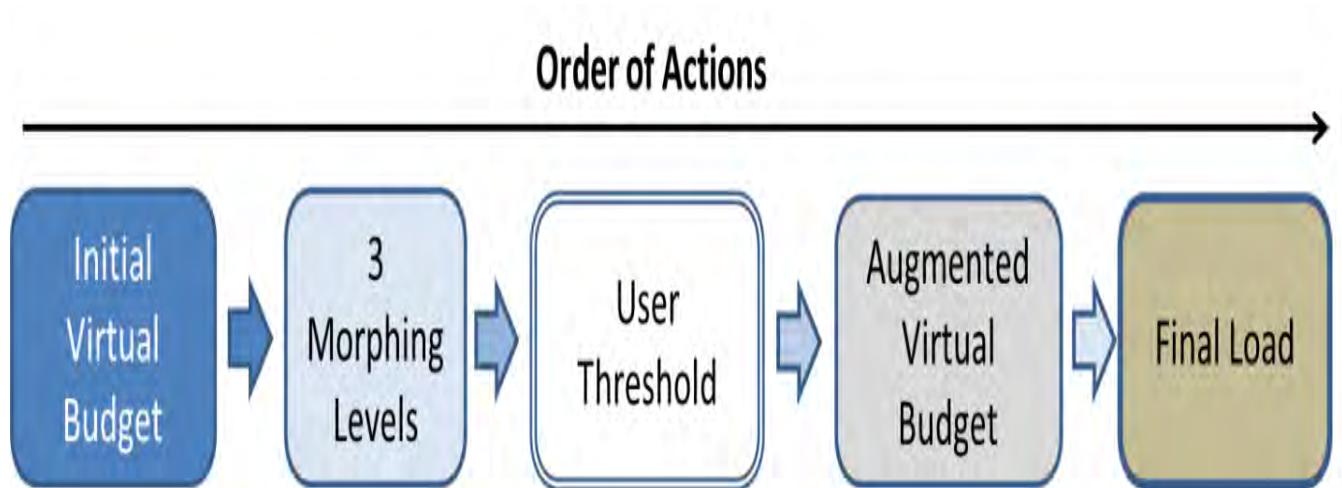
Σχήμα 5.2. Επίπεδα της μορφοποίησης του φορτίου με τη μέθοδο VB και χρήση των παραμέτρων β, γ

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι στη μέθοδο του εικονικού προϋπολογισμού ο χρήστης μαζί με τις μεταβλητές β και γ που εισάγει, είναι αυτός που θέτει ένα όριο της ημερήσιας κατανάλωσης που προτίθεται να έχει. Δηλαδή το πόσα χρήματα είναι διατεθειμένος να ξοδέψει την ημέρα. Αυτό το ανώτατο όριο τίθεται σαν περιορισμός στη μέθοδο του εικονικού προϋπολογισμού και δηλώνεται με τη μεταβλητή TRD.

Συνεπώς το πρόβλημα του εικονικού προϋπολογισμού πλέον ανάγεται στο προγραμματισμός του ελαστικού φορτίου έτσι ώστε ο λογαριασμός του χρήστη να ταιριάζει με το προκαθορισμένο επίπεδο TRD. Στη σχέση δηλαδή (1) έχουμε

$$\sum_{i=1}^I (NR_i + E_i) \cdot AP_i = TRD$$

Συνοπτικά, λοιπόν τα βήματα της μορφοποίησης του φορτίου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του εικονικού προϋπολογισμού απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα



Σχήμα 5.3. Βήματα μορφοποίησης του φορτίου

Τελικά παρατηρούμε ότι το όριο εισόδου των χρηστών μαζί με τη μέθοδο του εικονικού προϋπολογισμού καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει την ανθρώπινη παρέμβαση η οποία περιορίζεται στην επιλογή TRD και πιθανόν και στις παραμέτρους β,γ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο προβλεπόμενος λογαριασμός της ηλεκτρικής ενέργειας.

5.5 Εφαρμογή Virtual Budget σε ωριαία δεδομένα πραγματικού κόσμου

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται περισσότερο κατανοτή η σημασία του Εικονικού Προϋπολογισμού μέσα από την εφαρμογή του σε δεδομένα πραγματικού κόσμου από το ISO της Νέας Αγγλίας, η εφαρμογή αυτή έχει ήδη γίνει από ερευνητική ομάδα.

Τα μαθηματικά εργαλεία ή εργαλεία μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του Virtual Budget, είναι για την πρόβλεψη του φορτίου **Gaussian process regression (GPR)** ενώ για την πρόβλεψη της τιμής **Relevance Vector Regression (RVR)**.

Τα αναλυτικά μοντέλα που μπορούν να εκφραστούν ως συνάρτηση kernel είναι γνωστά ως kernel machines. Kernel είναι οποιαδήποτε έγκυρη μαθηματική συνάρτηση που μπορεί να γραφτεί σε σχέση με τη διπλή αναπαράσταση. Η γενική μορφή της διπλής αναπαράστασης δίνεται από:

$$k(x_1, x_2) = \varphi(x_1)^T \phi(x_2) \quad (A)$$

Το $\phi(x)$ να είναι οποιαδήποτε αναλυτική συνάρτηση γνωστή ως συνάρτηση βάσης και $k(x, x)$ που αντιπροσωπεύει μια συνάρτηση kernel. Σε γενικές γραμμές, η διατύπωση μιας συνάρτησης χρησιμοποιώντας την εξίσωση (A) είναι γνωστή ως το τέχνασμα του kernel.

$$k(x_1, x_2) = x_1^T x_2 \quad (B)$$

$$k(x_1, x_2) = (x_1^T x_2)^2 \quad (C)$$

Gaussian process regression

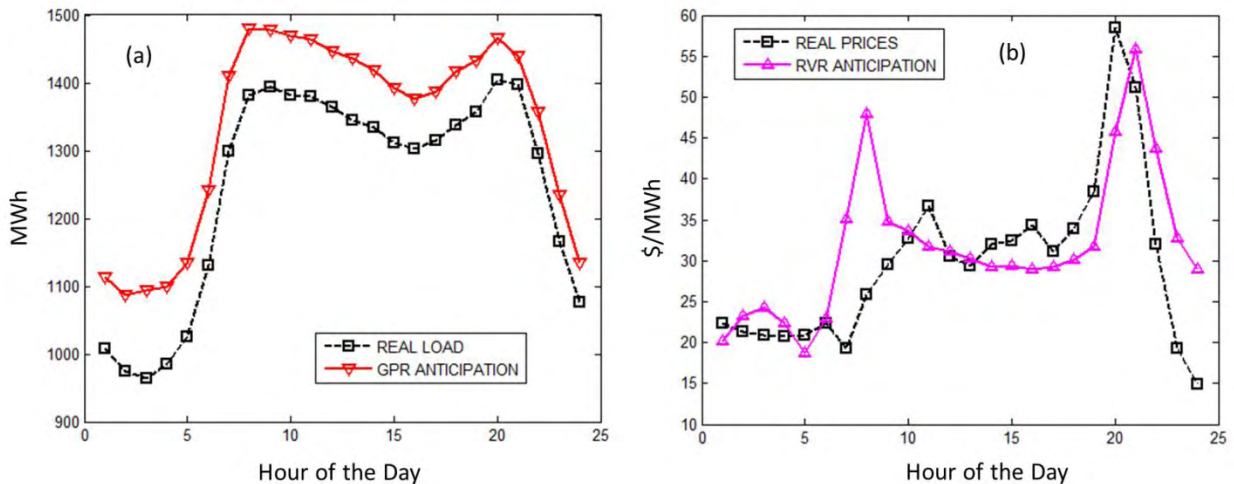
Η Gaussian kernel παίρνει τη μορφή

$$k(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

στη παραπάνω σχέση x_1, x_2 είναι τα δεδομένα εισόδου και σ είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος που εκτιμήθηκε κατά τη φάση του πειράματος.

Τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται τόσο από τους φορείς πρόβλεψης φορτίου όσο και από τις τιμές προβλέπουν όλες τις παρατηρούμενες ωριαίες τιμές φορτίου και της τιμής, αντίστοιχα, μιας ημέρας πριν, δύο ημέρες πριν και μία εβδομάδα πριν από την ημέρα στόχευσης.

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης των σχημάτων εικονικού προϋπολογισμού είναι προγράμματα κώνων δεύτερης τάξης SOCPs .



Σχήμα 5.4.(α)Πρόβλεψη από την GPR έναντι πραγματικών τιμών

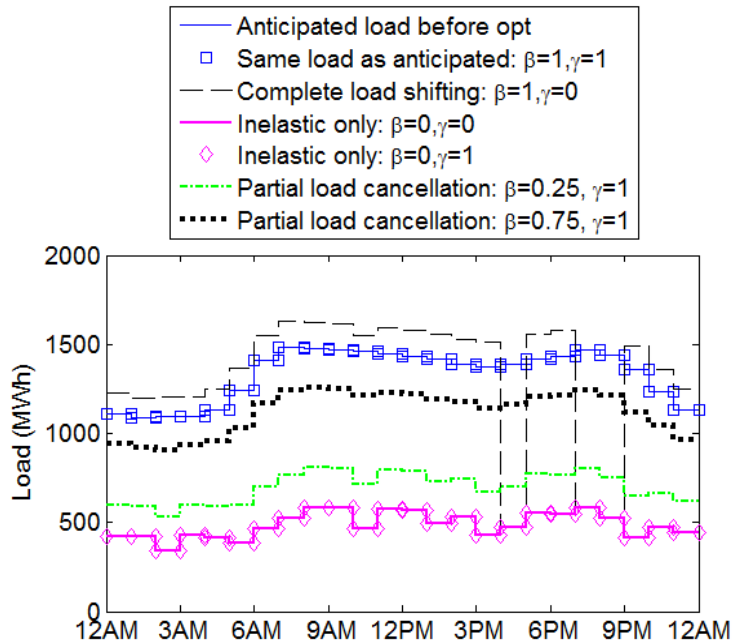
φορτίου(MAPE=7.2%),(b)Πρόβλεψη με RVR έναντι των πραγματικών τιμών (MAPE=17.3%).

Στα παραπάνω σχήματα γίνεται κατανοητή η έννοια του εικονικού προϋπολογισμού καθώς λαμβάνουμε ένα σύνολο δεδομένων την ημέρα 14 Απριλίου 2015 και χρησιμοποιώντας τα μοντέλα GPR και RVR προβλέπουμε τις τιμές. Στο αριστερό σχήμα παρουσιάζονται το πραγματικό φορτίο σε αντιδιαστολή με το προβλεπόμενο χρησιμοποιώντας το μοντέλο GPR, την ημέρα της δοκιμής. Στο δεξί σχήμα παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε αντιδιαστολή με τις προβλεπόμενες με το μοντέλο RVR. Το πόσο ακριβής είναι η πρόβλεψη το καθορίζει το μέσο ποσοστό σφάλματος

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{R_t - P_t}{R_t} \right|$$

όπου R_t και P_t η πραγματική και η προβλεπόμενη τιμή και N ο αριθμός των χρονικών σημείων.

Στο αριστερό διάγραμμα το ποσοστό του σφάλματος είναι $MAPE=7.2\%$, ενώ στο δεξί διάγραμμα το ποσοστό του σφάλματος είναι $MAPE=17.3\%$.

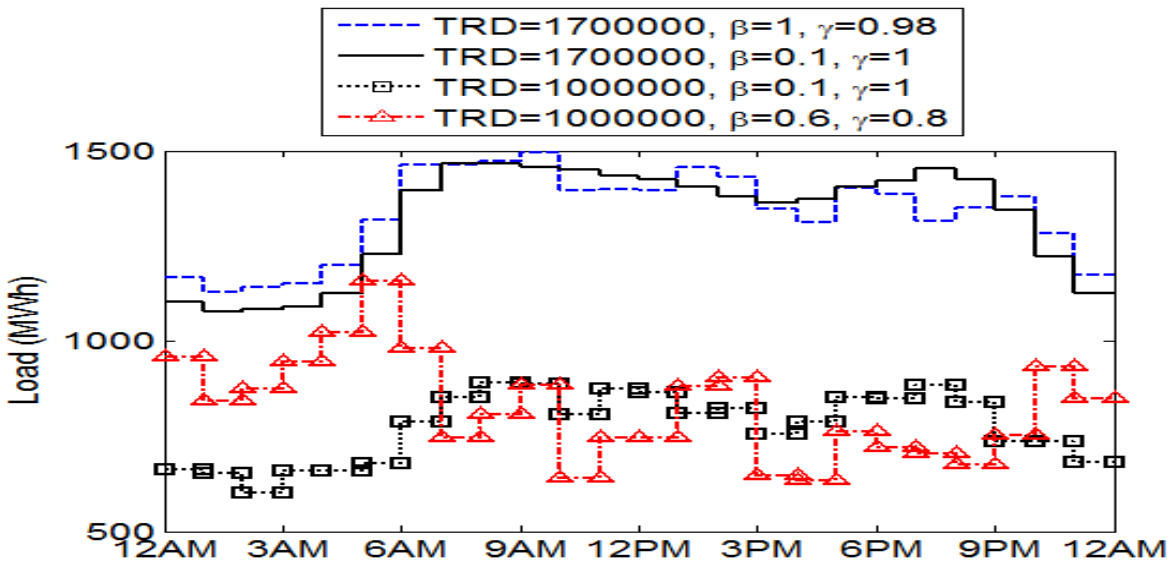


Σχήμα 5.6. Μορφοποιημένα επίπεδα του φορτίου για διάφορες τιμές β, γ .

Δείχνει τα ληφθέντα μορφοποιημένα φορτία για δύο κατώφλια χρηστών, επιλέγοντας δύο διαφορετικά ζεύγη τιμών β και γ για κάθε κατώφλι. Η τιμή του πρώτου ορίου (δηλ. TRD = \$ 1,700,000) επιλέγεται για να εκφράσει την επιθυμία του χρήστη για πολύ μικρή μείωση του κόστους. Από την άλλη πλευρά, το δεύτερο όριο (δηλαδή, TRD = \$ 1.000.000) σημαίνει μια πολύ επιθετική μείωση του κόστους σε σχέση με το αναμενόμενο κόστος. Για το πρώτο όριο εφαρμόζονται δύο στρατηγικές. Στην πρώτη στρατηγική $\beta=1, \gamma=0,98$ που αφού το β έχει την ίδια τιμή με την αρχική πρόβλεψη συμβαίνει μια μετατόπιση μόνο του αρχικού ελαστικού φορτίου. Στη δεύτερη στρατηγική με $\beta=0,1, \gamma=1$ αφού η μεταβλητή γ είναι ίδια με την αρχική τιμή έχουμε μόνο μερική ακύρωση του αρχικού ελαστικού φορτίου.

Για το δεύτερο κατώφλι επιλέγεται να επιτευχθεί λιγότερο από το 60% του αρχικού αναμενόμενου κόστους. Σε αυτή τη περίπτωση η στρατηγική που εφαρμόζεται είναι για $\beta=0,1, \gamma=1$ που επιτυγχάνεται μερική ακύρωση του φορτίου. Η δεύτερη στρατηγική που εφαρμόζεται είναι για $\beta=0,6$ και $\gamma=0,8$ που έχουμε και μερική ακύρωση του φορτίου και μερική μετατόπισή του.

Στο σχήμα που ακολουθεί ουσιαστικά παρουσιάζονται οι διαφορετικές στρατηγικές για τα δύο όρια και αποκαλύπτεται η ευελιξία που παρουσιάζει η μέθοδος του Εικονικού Προυπολογισμού. Τονίζεται για ακόμη μια φορά επίσης το γεγονός πως η παρέμβαση του χρήστη είναι ελάχιστη χάρη στην αυτοματοποίηση της μεθόδου αυτής, δίνεται όμως η δυνατότητα στον κάθε χρήστη να θέτει ο ίδιος το κατώφλι και να επιτυγχάνει μια μορφοποίηση του φορτίου με το χαμηλότερο κόστος από το αρχικό προβλεπόμενο.



Σχήμα 5.7. Μορφοποιημένα φορτία από τον εικονικό προϋπολογισμό για δύο διαφορετικές εισόδους δύο χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

Συμπεράσματα-Conclusion

Το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα μέσο για την παράδοση και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για ένα σύστημα όμως υψηλής πολυπλοκότητας και ετερογένειας καθώς αποτελείται από πολλά διαφορετικά διασυνδεδεμένα υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Πρέπει συνεπώς τα υποσυστήματα να ελέγχονται με κατάλληλες αυτοματοποιημένες μεθόδους προκειμένου αφενός μεν να αποφεύγονται τυχόν αστάθειες αφετέρου να γίνεται έξυπνη διαχείριση της ενέργειας καθοριστικής σημασίας για την αξιοπιστία του συστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο, σε αυτή τη διπλωματική εργασία παράλληλα με την ανάλυση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας(1ο κεφάλαιο),το πως διαμορφώνεται η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας(κεφάλαιο 2ο),την έννοια της απόκρισης και διαχείρισης της ζήτησης(κεφάλαιο 3ο),το όραμα ενός Energy Internet(κεφάλαιο 4ο),δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση μιας νέας αυτοματοποιημένης μεθόδου, του Εικονικού Προϋπολογισμού. Η μέθοδος αυτή ενσωματώνει την πρόβλεψη του φορτίου και της τιμής με τη δυναμική βελτιστοποίηση, προκειμένου να προσδιορίσει ένα βέλτιστο πρότυπο κατανάλωσης φορτίου. Τα πλεονεκτήματα του Εικονικού Προϋπολογισμού είναι η ελάχιστη παρέμβαση του καταναλωτή στη διαδικασία της μορφοποίησης. Οι καταναλωτές το μόνο που κάνουν είναι να εισάγουν τρεις μεταβλητές που εκφράζουν τη στρατηγική συναλλαγής και τη ζώνη της οικονομικής τους άνεσης. Ο Virtual Budget ακολουθεί έναν ανθρώπινο τρόπο σκέψης για να πετύχει κόστος όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το μέγιστο κόστος που έχει θέσει ο καταναλωτής. Κρίνεται λοιπόν σημαντική και ιδιαίτερα ωφέλιμη η ενσωμάτωση του Εικονικού Προϋπολογισμού σε έξυπνους μετρητές μέσα στα έξυπνα δίκτυα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.] N. Βοβός, Γ. Γιαννακόπουλος, «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», 2008
- [2.] Alamaniotis, M.,Gatsis,N.,&Tsoukalas,L.H., "Virtual Budget :Integration of Electricity Load and Price Anticipation for Load Morphing in Price-Directed Energy Utilization", Applied Intelligent Systems Laboratory, School of Nuclear Engineering, Purdue University, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Texas at San Antonio.
- [3.] William W. Hogan, "Electricity Wholesale Market Design in a Low Carbon Future", Harvard University,2010.
- [4.] Alamaniotis, M.,Bargiotas, D., & Tsoukalas, L.H."Towards smart energy systems: application of kernel machine regression for medium term electricity load forecasting,"SpringerPlus -Engineering Section, Springer, 2016.
- [5.] Cao, J., & Yang,M., "Energy Internet – Towards Smart Grid 2.0",Research Institute of Information Technology Tsinghua, National Laboratory for Information Science and Technology Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China,2013.
- [6.] "Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them", US Department of Energy, February 2006.
- [7.] "Διαχείριση της ηλεκτρικής ζήτησης: Προκλήσεις και πλεονεκτήματα", Ιωάννης Παναπακίδης, Νικόλαος Τσιαντούλας, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας-Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας- Θεσσαλονίκη, 2012.
- [8.] "Ορθολογική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιβάλλον δυναμικής τιμολόγησης", Βασίλης Καψάλης Αναπληρωτής Καθηγητής, εργαστήριο Επικοινωνιών και Δικτύων, 5ο Forum ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ available: http://www.forumanaptixis.gr/images/fe16/tei/6-_-5o_Forum_ppt.pdf
- [9.] "Primer on Demand-Side Management with an emphasis on price-responsive programs", Charles River Associates, February 2005.
- [10.] Ανδρέας Κατεργιαννάκης "Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης/ προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίχωρο διαμέρισμα"
- [11.] http://www.electricenergyonline.com/show_article.php?mag=&article=667
- [12.] Jeremy Rifkin on the Energy Internet, <http://bigthink.com/think-tank/jeremy-rifkin-on-the-energy-internet>
- [13.] Λαμπρίδης Ιωάννης "Δυναμική Τιμολόγηση και Έξυπνα Δίκτυα"