



Ευφυή Δίκτυα στο Ελληνικό ΣΗΕ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Ελευθέριος Τσουκαλάς
Καθηγητής Π.Θ.

Παναγιώτα Τσομπανοπούλου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Π.Θ.

ΤΜΗΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΒΟΛΟΣ 2016



Intelligent Networks in the Greek Power System

DIPLOMA THESIS

VASILEIOS PAPAKONSTANTINOU

Supervisors:

Eleutherios Tsoukalas
Professor UTH

Panagiota Tsobanopoulou
Associate Professor UTH

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING



VOLOS 2016

Ευχαριστίες

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την καθοδήγησή του καθ' όλη την πορεία και τις χρήσιμες συμβουλές του, καθώς και την κ. Τσομπανοπούλου Παναγιώτα ως συνεπιβλέπουσα της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή κ. Νικηφόρο Φαϊντί για την πολύτιμη βοήθειά του όποτε αυτή την χρειάστηκα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη θερμή υποστήριξή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τα Ευφυή Δίκτυα ενέργειας και περιγράφεται η πορεία της εγκατάστασής τους στο Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα του τα στάδια από την παραγωγή, στην μεταφορά και την διανομή. Επίσης γίνεται μια ανάλυση των αδυναμιών του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στα Έξυπνα δίκτυα ενέργειας και περιγράφονται τα πλεονεκτήματα που αυτά έχουν αλλά και οι προκλήσεις που θα αντιμετωπίσουν. Δίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους όπως και η αρχιτεκτονική τους και τέλος αναλύονται τα βήματα για την εγκατάστασή τους στην Ελλάδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται ο όρος της δυναμικής τιμολόγησης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ενέργειας. Επίσης γίνεται αναφορά στην απόκριση ζήτησης και τα διαφορετικά προγράμματα τιμολόγησης που υπάρχουν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) και οι κύριες εφαρμογές του. Ακόμη, παρουσιάζονται οι εφαρμογές του στα ευφυή δίκτυα ενέργειας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύεται η ανάγκη για ασφάλεια στα Smart Grids και οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν. Επιπλέον περιγράφονται κάποιες ενέργειες με σκοπό την ασφάλεια του Smart Grid.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στους Έξυπνους Μετρητές και τα χαρακτηριστικά τους. Περιγράφεται το σύστημα AMR καθώς και τα οφέλη από την χρήση έξυπνων μετρητών. Τέλος, παρουσιάζεται η πορεία της εγκατάστασης έξυπνων μετρητών στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Abstract

The present diploma thesis is analyzing the Intelligent Power Networks and describes the process of their establishment into the Greek Power System.

To make it more specific, the first chapter describes the Greek Power System in all the stages, from the production until the transfer and distribution of energy. Also, it is being analyzed the present electric grid and its shortcomings.

The second chapter, begins with an introduction about the Intelligent Networks and describes the advantages of them, as well as the challenges that they have to come up against. This chapter refers to the main characteristics of the Intelligent Networks and their architecture and finally analyzes their steps of establishment into the Greek System.

The third 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 and the different programs of pricing that they exist.

In the fourth chapter of the thesis, the Internet of Things and its main uses are being described. Also, its uses in the Smart Networks are being presented.

The fifth chapter analyzes the need for secure into the Smart Grid as well as the goals that have to be achieved. Also, some actions that take place in order to manage the safety of the Smart Grid are being described into this Chapter.

Last but not least, the sixth chapter refers to the Smart Meters and their characteristics. The AMR system is being described, as well as the benefits of using Smart Meters. Finally, the process of the establishment of the Smart Meters into the Greek Power System is being presented.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Περιγραφή ελληνικού ΣΗΕ	9
1.3 Περιγραφή συστήματος Μεταφοράς και Διανομής.....	15
1.4 Εθνικό σχέδιο για πολιτική "20-20-20"	18
1.5 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου.....	18
2. Ευφυή Δίκτυα	20
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Τα πλεονεκτήματα ενός Ευφυούς Δικτύου.....	22
2.3 Ανάγκες και προκλήσεις του Έξυπνου Δικτύου.....	23
2.4 Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου.....	24
2.5 Χαρακτηριστικά των Έξυπνων Δικτύων	27
2.6 Προκλήσεις αξιοπιστίας του δικτύου	33
2.7 Η επίδραση των κυριότερων στοιχείων του έξυπνου δικτύου στην αξιοπιστία του ..	34
2.8 Έξυπνα δίκτυα στην Ελλάδα	36
3. Χρέωση της ενέργειας και διαμόρφωση της τιμής	38
3.1 Η δυναμική τιμολόγηση.....	38
3.2 Μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας	42
3.3 Οι κυριότεροι παράγοντες της τιμής.....	45
3.4 Απόκριση ζήτησης.....	46
4. Ευφυή δίκτυα και Internet of Things	54
4.1 Περιγραφή.....	54
4.2 Κύριες τεχνολογίες στο IoT.....	56
4.3 Οι εφαρμογές του IoT.....	57
4.4 Εφαρμογές του IoT στο Έξυπνο δίκτυο.....	59

5. Ασφάλεια στα Ευφυή Δίκτυα.....	61
5.1 Η ανάγκη ύπαρξης ασφάλειας	61
5.2 Στόχοι ασφάλειας σε Smart Grids	64
5.3 Θέματα ασφάλειας σε Smart Grids.....	65
5.4 Ασφαλίζοντας το Smart Grid.....	67
6. Έξυπνοι Μετρητές	71
6.1 Εισαγωγή	71
6.2 Automatic Meter Reading (AMR)	74
6.3 Ο έξυπνος μετρητής ως τοίχος προστασίας (firewall) ανάμεσα σε εξωτερικό και εσωτερικό κόσμο	76
6.4 Έξυπνοι μετρητές στην οικία.....	78
6.5 Οφέλη από την χρήση Έξυπνων μετρητών	80
6.6 Η κατάσταση στο Ελληνικό δίκτυο	84
7. Συμπεράσματα.....	85
Βιβλιογραφία	87

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται ένα σύνολο εγκαταστάσεων και εξοπλισμού το οποίο αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμούς ανύψωσης τάσης, υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και γραμμές μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας (υπόγειες και υπέργειες).

Κύριος σκοπός ενός ΣΗΕ είναι να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές όποτε αυτοί το ζητήσουν, με αξιοπιστία και ασφάλεια, προσφέροντάς τους ηλεκτρική ενέργεια στην χαμηλότερη δυνατή τιμή και με όσον το δυνατό μικρότερο κόστος στο περιβάλλον.

1.2 Περιγραφή ελληνικού ΣΗΕ

Όταν αναφερόμαστε στο ελληνικό ΣΗΕ, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην Δημόσια Επιχείρηση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που ιδρύθηκε το 1950. Μέχρι το 2001 η ΔΕΗ κατείχε το μονοπώλιο στην ελληνική αγορά. Τότε απελευθερώθηκε η αγορά ενέργειας από μονοπωλιακή σε ανταγωνιστική βάση νόμου, ακολουθούμενη μιας τάσης που γεννήθηκε στις ΗΠΑ στα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Η απελευθέρωση της αγοράς βοήθησε στην ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών παραγωγής ρεύματος (φωτοβολταϊκά, βιομάζα, γεωθερμία, αιολική ενέργεια).

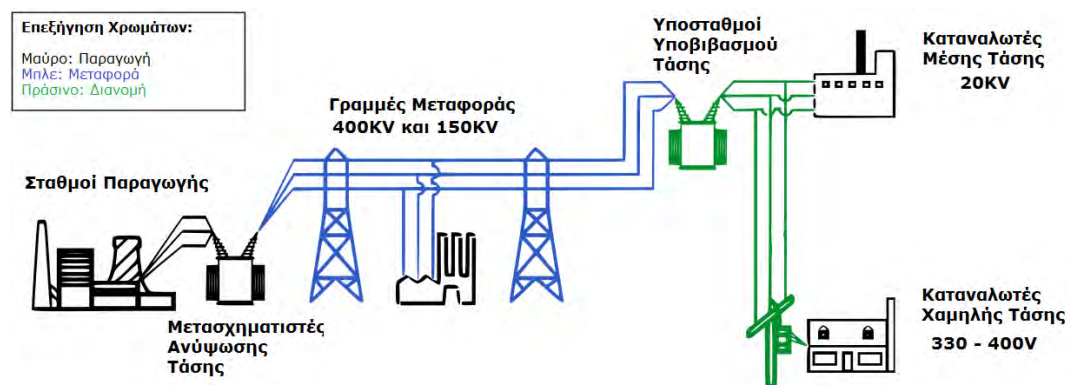
Σημαντική χρονική στιγμή για την πορεία της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής υπήρξε το 1997 όταν υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο. Το πρωτόκολλο αυτό υποχρέωνε τα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές αερίων ρύπων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης ορίζει συγκεκριμένο καταμερισμό ευθυνών ανά χώρα. Υπογράφηκε από 191 χώρες με τις ΗΠΑ όμως να μην συμπεριλαμβάνονται σε αυτές.

Συγκεκριμένα στο ελληνικό ΣΗΕ χρησιμοποιείται τριφασική εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα 50Hz. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος παράγεται σε μεγάλους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στις πρώτες ύλες (λιγνίτης), έπειτα μέσω του συστήματος μεταφοράς φθάνει στα κέντρα κατανάλωσης και τέλος μέσω του δικτύου διανομής ικανοποιεί τις ανάγκες όλων των καταναλωτών.

Στο ελληνικό ΣΗΕ η παραγόμενη ισχύς από τα μεγάλα θερμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχει επίπεδο τάσης μεταξύ 20-30 kV. Έπειτα η τάση αυτή ανυψώνεται στα 400 kV, που είναι το επίπεδο του συστήματος μεταφοράς, έτσι ώστε η ροή ισχύος να φτάνει στους καταναλωτές με όσο το δυνατό μειωμένες απώλειες. Κοντά στα αστικά κέντρα, η υπερυψηλή τάση υποβαθμίζεται σε σταθμούς υποβιβασμού τάσης στα 150 kV. Σε εκείνο το σημείο τροφοδοτεί καταναλωτές υψηλής τάσης (βιομηχανίες), και συνεχίζεται η μεταφορά ισχύος σε άλλους σταθμούς υποβιβασμού, όπου η τάση πέφτει στα 20 kV (μέση τάση).

Ο ζυγός μέσης τάσης ενός τέτοιου υποσταθμού είναι στην ουσία η αρχή του δικτύου διανομής, από όπου αναχωρούν γραμμές μέσης τάσης προς τους κοντινότερους καταναλωτές του υποσταθμού. Στους κόμβους μέσης τάσης συνδέονται μετασχηματιστές διανομής που υποβαθμίζουν την τάση στα 400V τριφασική ή 230V μονοφασική (χαμηλή τάση). Από εκεί αναχωρούν οι γραμμές χαμηλής τάσης που τροφοδοτούν τους καταναλωτές (κατοικίες, μικρές βιοτεχνίες και εμπορικά καταστήματα). Όσες βιομηχανίες έχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος (>250 KVA) συνδέονται απευθείας σε γραμμές μέσης τάσης.

Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί μία νέα τάση στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό μοντέλο με μεγάλες μονάδες παραγωγής, δημιουργούνται μικρότερες μονάδες οι οποίες συνδέονται απευθείας στο δίκτυο μέσης ή χαμηλής τάσης. Ουσιαστικά, αποφεύγεται η χρήση του συστήματος μεταφοράς σε γραμμές υψηλής τάσης. Με το μοντέλο αυτό ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών τοπικά προσδίδοντάς τους μία σχετική αυτάρκεια. Σε περίπτωση πλεονάζουσας παραγωγής, υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της ισχύος στο σύστημα μεταφοράς. Βασικό στοιχείο της διανεμημένης παραγωγής είναι η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).



Σχήμα 1.1 : Απεικόνιση του ελληνικού ΣΗΕ

Την διανομή και την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα έχουν αναλάβει εξολοκλήρου δημόσιοι φορείς , ενώ αντίθετα στον τομέα της παραγωγής ενέργειας εμπλέκονται πλέον και αρκετές ιδιωτικές εταιρίες.

Ύστερα από τον διαχωρισμό της ΔΕΗ Α.Ε σχηματίστηκαν δύο εταιρίες οι οποίες είναι 100% θυγατρικές της. Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε αποτελεί τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε αποτελεί τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η πρώτη εταιρεία ασχολείται με την ανάπτυξη , λειτουργία και συντήρηση του δικτύου διανομής ενέργειας ενώ η δεύτερη με την διαχείριση, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και όλων των διασυνδέσεών του.

Η ΔΕΗ περιλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο της λιγνιτικούς , υδροηλεκτρικούς, πετρελαϊκούς σταθμούς , σταθμούς φυσικού αερίου όπως και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Κατέχει περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα και είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής ενέργειας στην ελληνική αγορά.

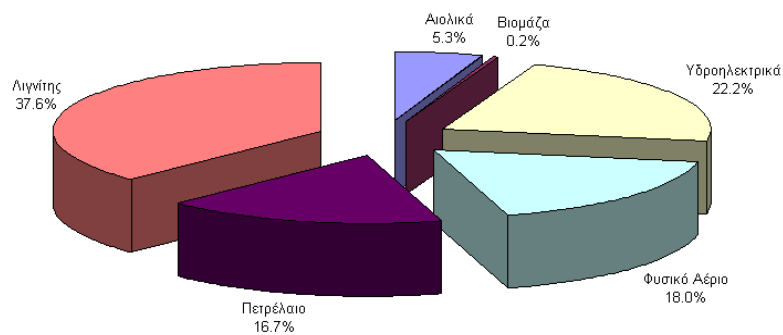
Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή αυτή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα. Έτσι έχουμε:

- Ηλεκτροπαραγωγή από Συμβατικά καύσιμα η οποία χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας ορυκτά στερεά , υγρά ή αέρια καύσιμα τα οποία βρίσκονται στο υπέδαφος. Βρίσκονται σε μικρά ή μεγαλύτερα βάθη και οι ποσότητες του είναι μη ανανεώσιμες. (π.χ. θερμοηλεκτρικοί , ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κ.τ.λ.)
- Ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας η οποία χρησιμοποιεί πηγές ενέργειας που είναι διαχρονικές και δεν έχουν πεπερασμένο απόθεμα όπως για παράδειγμα ο ήλιος. (π.χ. φωτοβολταϊκά , αιολικά πάρκα).

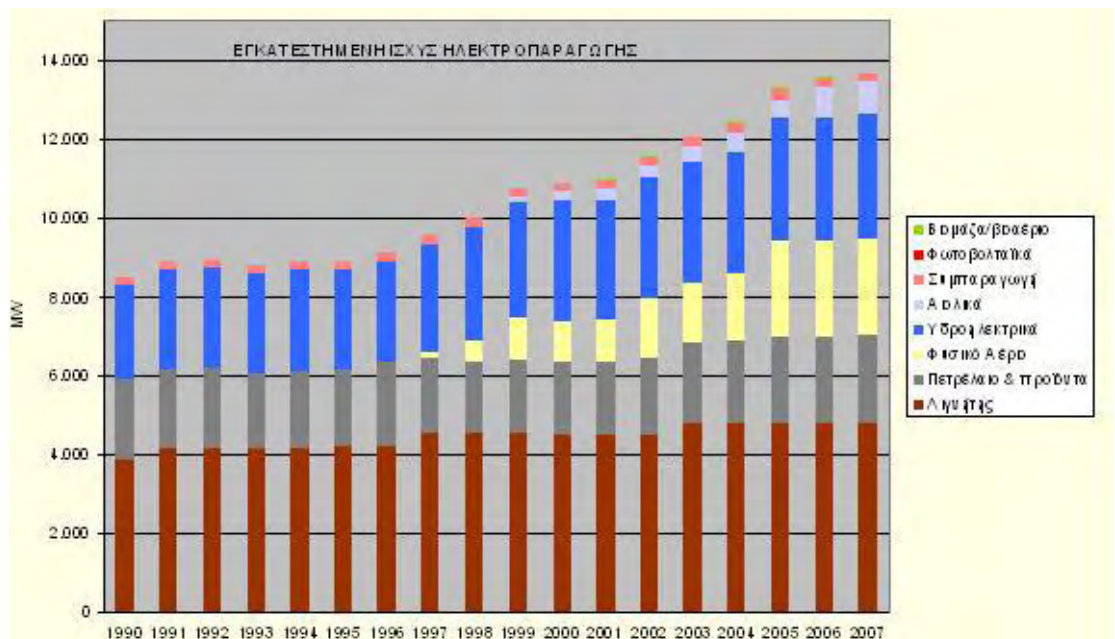
Σύμφωνα με την ΡΑΕ γνωρίζουμε ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα στην Δυτική Μακεδονία παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως η συγκέντρωση των σταθμών παραγωγής στα βόρεια της Ελλάδας δημιουργεί μεγάλες απώλειες στη μεταφορά της ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και διάφορα προβλήματα

στη λειτουργία. Ο σχεδιασμός όμως των σταθμών στις περιοχές αυτές έγινε για το λόγο ότι εκεί υπήρχαν μεγάλες ποσότητες λιγνίτη που αποτελεί και την κύρια πηγή ενέργειας. Οι περιοχές με τις περισσότερες ποσότητες λιγνίτη είναι η Δράμα , Δυτική Μακεδονία , Ελασσόνα και Μεγαλόπολη. Το 66.5% των παραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί εκ των οποίων με λιγνίτη 4900 MW , με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4600 MW .

Σύνολο (MW) Εγκατεστημένης Ισχύος

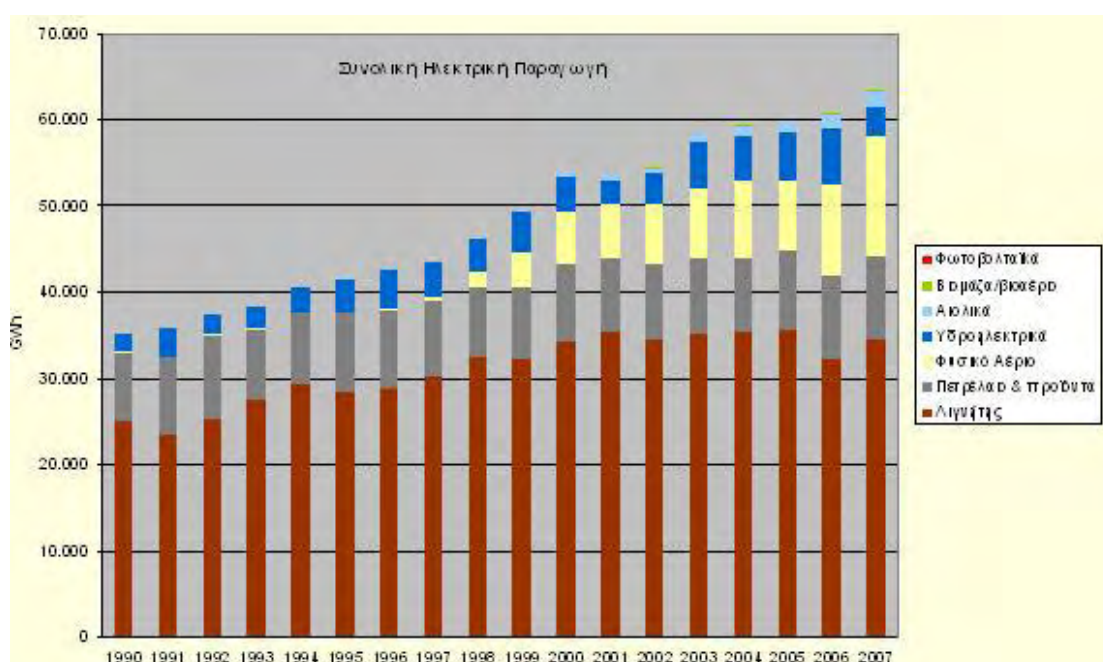


Σχήμα 1.2: Ποσοστά των διαφορετικών μονάδων παραγωγής



Σχήμα 1.3 : Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων

Έτσι βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος που παράγεται βασίζεται στον λιγνίτη που είναι αναμενόμενο γιατί υπάρχουν τεράστιες ποσότητες αυτού στην ηπειρωτική Ελλάδα. Επίσης το ποσοστό της ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο είναι σταθερό αλλά σχετικά μεγάλο, όπως σταθερό είναι και το ποσοστό των υδροηλεκτρικών σταθμών οι οποίοι για να κατασκευαστούν χρειάζονται μεγάλες παρεμβάσεις στο περιβάλλον για την δημιουργία των φραγμάτων. Αντιθέτως βλέπουμε ότι αυξάνονται οι μονάδες παραγωγής με χρήση φυσικού αερίου, όπως και οι μονάδες που χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια και δείχνει την είσοδο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία.



Σχήμα 1.4 : Εξέλιξη της παραγόμενης ενέργειας από το 1990 – 2007

Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής σημαντικά:

- Την αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, η οποία απεικονίζει την οικονομική ανάπτυξη της εποχής αυτής και την αντανάκλασή της στην αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το μεγάλο μερίδιο της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη αλλά και την ετήσια ποσοστιαία μείωση ως προς την ετήσια συνολική παραγωγή.

- Την ετήσια παραγόμενη από πετρέλαιο Η/Ε, τη διατήρησή της σαν ποσότητα με την πάροδο του χρόνου και τη μείωσή της ως ποσοστού επί της ετήσιας παραγωγής με την πάροδο του χρόνου.
- Την είσοδο του φυσικού αερίου στο μείγμα της παραγόμενης Η/Ε στην Ελλάδα και την ετήσια σταδιακή αύξηση της παραγόμενης από αυτό Η/Ε λόγω της εγκατάστασης νέων Σταθμών Παραγωγής τεχνολογίας Φ/Α.
- Την παραγόμενη από υδροηλεκτρικούς σταθμούς Η/Ε, με την διευκρίνιση ότι οι εμφανείς αυξομειώσεις απεικονίζουν τις ετήσιες βροχοπτώσεις των περιοχών εγκατάστασης των σταθμών.
- Την βαθμιαία αύξηση της παραγόμενης από Ανανεώσιμες Πηγές Η/Ε τα τελευταία χρόνια και την διεύδυση των ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή.

Στην χώρα μας οι οικονομικότεροι σταθμοί παραγωγής είναι οι ατμοηλεκτρικοί και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Σαν κύριο καύσιμο οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν τον λιγνίτη και λιγότερο συχνά το πετρέλαιο. Βασικότερο πλεονέκτημα των σταθμών αυτών είναι ότι μπορούν να δουλεύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να έχουν ανάγκη συντήρησης και να σταματούν την λειτουργία τους. Αντίθετα κάποια μειονεκτήματα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο σημείο όπου θα κατασκευαστεί ο σταθμός όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς του καυσίμου.



Σχήμα 1.5 : Θέσεις ατμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών σταθμών

Σύμφωνα πάλι με την ίδια μελέτη του ΔΕΣΜΗΕ στο σύστημα είναι συνδεδεμένοι οι παρακάτω υποσταθμοί 150 kV/MT :

- 202 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT της ΔΕΗ
- Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων (Α/Π), εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους παραπάνω 202 Υ/Σ υποβιβασμού της ΔΕΗ).
- Υ/Σ ανυψώσεως MT/150 kV στους ακόλουθους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ:
Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Κομοτηνής, Πτολεμαΐδας, Αλιβερίου, Μεγαλόπολης I και II, Αγ. Γεωργίου και Λαυρίου).
Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Θησαυρού, Πλατανόβρυσης, Άγρα, Εδεσσαίου, Πολυφύτου, Ασωμάτων, Μακροχωρίου, Σφηκιάς, Ν. Πλαστήρα, Γκιώνας, Πηγών Αώου, Λούρου, Πουρναρίου I και II, Καστρακίου, Κρεμαστών, Στράτου, Λάδωνα).
- 2 Υ/Σ ανυψώσεως σε σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως MT/150kV.
- 35 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV /MT που εξυπηρετούν τις ανάγκες πελατών Υ.Τ..

Τέλος σύμφωνα με την ίδια μελέτη στο σύστημα υπάρχουν πέρα των εναέριων γραμμών:

- 232 km υπόγειων και υποβρύχιων καλωδίων 150 kV
- 4 km υπόγειων καλωδίων 400 kV (ΕΝΘΕΣ- ΚΥΤ Θεσσαλονίκης)
- 13,5 km υποβρυχίων καλωδίων 66 kV (Ηγουμενίτσα- Κέρκυρα)
- 106 km εναέριας γραμμής και 160 km υποβρυχίου καλωδίου 400 kV συνεχούς ρεύματος για τη διασύνδεση με την Ιταλία
- 212 km υπόγειων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης.

Όσον αφορά το ελληνικό Δίκτυο Διανομής ενέργειας αυτό έχει σύμφωνα με στοιχεία του 2013 μια έκταση συνολικού μήκους 236.000 km και περιλαμβάνει δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Το δίκτυο διανομής μέσης τάσης των 20 kV το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς της διανομής.

- Το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (230 / 400V) το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους ίδιους τους καταναλωτές.

Το σύστημα διανομής έχει σαν βασικό εξοπλισμό τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τις γραμμές διανομής οι οποίες διανέμουν την ενέργεια από το ένα σημείο στο άλλο.
- Τους μετασχηματιστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν το μέγεθος της τάσης της μεταφερόμενης ενέργειας όταν αυτό είναι επιθυμητό.
- Τον εξοπλισμό ασφάλειας που χρησιμεύει για να παρέχει απρόσκοπτη λειτουργία ακόμα και σε περίπτωση που συμβεί κάποια βλάβη , όπως και για να εγγυάται την ασφάλεια.
- Τον εξοπλισμό ρύθμισης της τάσης που είναι απαραίτητος για να διατηρεί το επίπεδο της τάσης μέσα στα καθορισμένα επιτρεπτά όρια καθώς το φορτίο δεν είναι σταθερό και αλλάζει.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ τα βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής για το έτος 2015 είναι :

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής (τέλος του έτους):

- 111.130χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- 125.160χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

Συνολικά 236.290χλμ. Δικτύου.

- 161.180 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- 945χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων 200χλμ στην Αττική και 745χλμ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- 225 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), εκ των οποίων 19 κλειστού τύπου, κατανεμημένοι 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 26 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά.
- 7.438.455 Πελάτες (11.444 ΜΤ & 7.427.011 ΧΤ).
- 43.237 GWH Καταναλώσεις Πελατών (10.973 στη ΜΤ & 32.264 στη ΧΤ).

Κύρια οικονομικά μεγέθη του δικτύου Διανομής:

- Επενδύσεις (Ετήσιες δαπάνες επενδύσεων) 186 εκ. €.
- Εκμετάλλευση (Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες) 408 εκ. €.
- Ετήσια έσοδα από χρήση δικτύου 716 εκ. €.
- Πάγια Δικτύων Διανομής με αναπόσβεστη αξία 3,8 δις €.

1.4 Εθνικό σχέδιο για πολιτική “20-20-20”

Το εθνικό σχέδιο δράσης που αφορά την ενεργειακή πολιτική της χώρας εκπονήθηκε λόγω της εφαρμογής της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής “20-20-20” που αφορά την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εξοικονόμηση ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα για το σύνολο των κρατών - μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης προβλέπεται μέχρι το 2020:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την οδηγία 2009/29/EK
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

Ειδικότερα για την Ελλάδα ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

1.5 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχει αυτοματοποίηση στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και στα συστήματα ελέγχου της, όμως δεν μπορούμε να πούμε ότι έφερε την επανάσταση στον τομέα αυτό όπως έχει γίνει σε άλλους τομείς της βιομηχανίας.

Όμως οι απαιτήσεις των ανθρώπων αλλάζουν και πολλαπλασιάζονται καθώς περνούν τα χρόνια κάτι το οποίο απαιτεί και τα συστήματά μας να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές. Έχουμε δηλαδή αρχίσει να αντιλαμβανόμαστε τις όποιες αδυναμίες του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου.

Ένα δίκτυο το οποίο είναι χτισμένο να λειτουργεί βασισμένο σε μεγάλους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς χτισμένους σε στρατηγικά σημεία που πολλές φορές είναι και κοντά μεταξύ τους έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Οι σταθμοί αυτοί συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης για να καλύπτουν την ηλεκτροδότηση μεγάλων περιοχών και έτσι διακινείται ένας τεράστιος όγκος πληροφορίας από και προς τα κέντρα παραγωγής, με αποτέλεσμα η πληροφορία αυτή να φτάνει πολλές φορές με μεγάλη καθυστέρηση στον

προορισμό καθιστώντας έτσι δύσκολη την δυνατότητα που έχει το σύστημα να πραγματοποιεί έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα οι περισσότεροι σταθμοί έχουν σαν κύρια πηγή ενέργειας τον λιγνίτη κάτι που δημιουργεί και το πρόβλημα της επάρκειας του ορυκτού αυτού.

Επίσης μια άλλη αδυναμία του τρέχοντος δικτύου είναι το γεγονός της μονόπλευρης φύσης της επικοινωνίας και της ροής της ενέργειας. Έτσι ενέργεια μεταφέρεται μόνο από τον σταθμό που την παράγει προς το δίκτυο και στην συνέχεια προς τον πελάτη με αποτέλεσμα ο πελάτης να μην μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση του δικτύου εισάγοντας δικές του πηγές ενέργειας σε αυτό όπως ηλιακή ενέργεια ή αιολική ενέργεια από ιδιόκτητες εγκαταστάσεις. Αυτή η ανικανότητα του δικτύου να ενσωματώσει αυτές τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχει επίσης και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον , η ρύπανση του οποίου αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στην εποχή μας.

Ένα άλλο πολύ μεγάλο πρόβλημα του τρέχοντος δικτύου είναι η αδυναμία που υπάρχει στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ισχύς με σχετικά εύκολο τρόπο. Το δίκτυο για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της επόμενης μέρας εφόσον δεν έχει αποθέματα ενέργειας πρέπει να κάνει μια σωστή εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας της επόμενης μέρας. Αυτό είναι ένα σύνθετο πρόβλημα και η ζήτηση δεν μπορεί σχεδόν ποτέ να προβλεφθεί με απόλυτη ακρίβεια. Συνεπώς είτε θα παραχθεί περισσότερη ενέργεια από αυτή που πραγματικά χρειάζεται με αποτέλεσμα αυτή να μην χρησιμοποιείται πουθενά και να χάνεται , είτε θα έχουμε διακοπή ρεύματος (blackout) λόγω του ότι παράχθηκε τελικά λιγότερη ενέργεια από αυτή που τελικά ζητήθηκε την επόμενη μέρα.

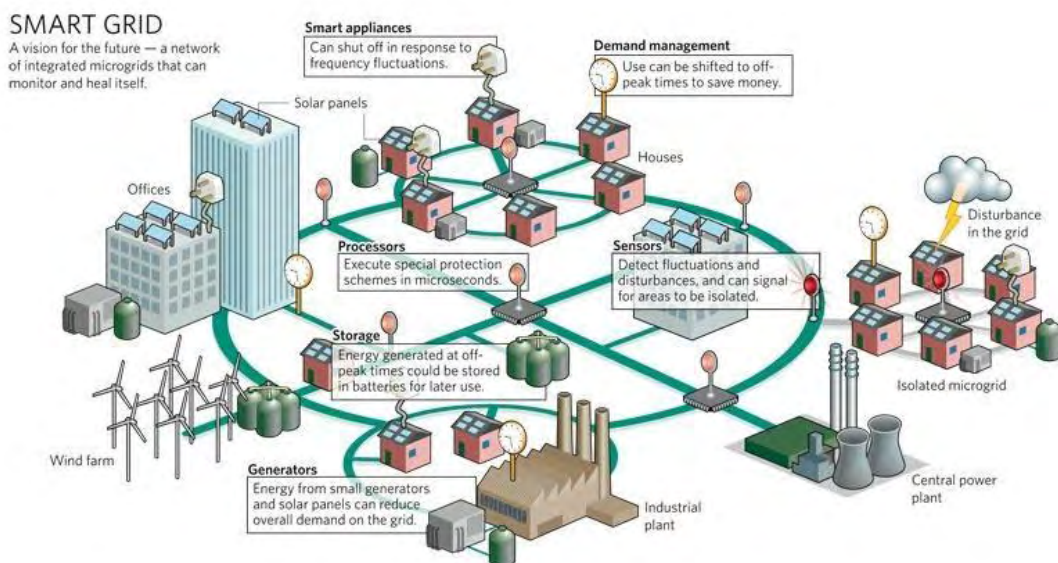
Τέλος το γεγονός ότι το υπάρχον σύστημα εφόσον παρουσιαστεί κάποια βλάβη χρειάζεται την φυσική παρέμβαση κάποιου χειριστή προκειμένου να αποκατασταθεί η λειτουργία του επιβαρύνει την θέση του τρέχοντος ηλεκτρικού συστήματος.

Για όλους αυτούς τους λόγους φθάσαμε στην εποχή όπου το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να επανασχεδιαστεί με έξυπνο τρόπο για να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες. Έτσι γεννιέται η ιδέα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου (Smart Grid), στο οποίο οι τεχνολογίες της επικοινωνίας και της πληροφορίας θα έχουν κεντρικό ρόλο στα επιμέρους στάδια από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Ευφυή Δίκτυα

2.1 Εισαγωγή

Εάν θελήσουμε να δώσουμε έναν ορισμό για το τι είναι το Ευφύες ή αλλιώς Έξυπνο δίκτυο (Smart Grid) , σύμφωνα με το Electric Power Research Institute (ERPI) το έξυπνο δίκτυο είναι “μια ευφυής υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία υποστηρίζεται από τις τελευταίες τεχνολογίες στον τομέα της επικοινωνίας, του υπολογισμού και της ηλεκτρονικής προκειμένου να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια”. Σε έναν άλλο ορισμό το Γραφείο Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας του Υπουργείου Ενέργειας (DoE) των ΗΠΑ, παρουσιάζει το Έξυπνο Δίκτυο σαν μια λύση που “ θα εξασφαλίσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος μέσω ανταλλαγής πληροφοριών, κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης της ενέργειας”. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Smart Grids: from innovation to deployment) ορίζει το Έξυπνο Δίκτυο ως “ ένα εξελιγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, του οποίου αναπόσπαστο κομμάτι είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή και τα ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του». Τέλος το European Commission Task Force for Smart Grid ορίζει το Ευφύες Δίκτυο ως “ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο με αποδοτικό τρόπο μπορεί να ενσωματώσει τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των παραγόντων που βρίσκονται συνδεδεμένοι σε αυτό – παραγωγοί, καταναλωτές ή και καταναλωτές που παράγουν ενέργεια – ώστε να διασφαλίσει ένα οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο σύστημα ενέργειας με χαμηλές απώλειες και υψηλής ποιότητας υπηρεσία, σε ένα ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο».



Σχήμα 2.1: Η εικόνα ενός έξυπνου δικτύου

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορεί κάποιος να καταλάβει ότι το μελλοντικό έξυπνο δίκτυο δεν είναι κάτι άλλο παρά ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου σε ένα δίκτυο στο οποίο η τεχνολογία της πληροφορίας θα έχει πλέον τον πρωτεύον ρόλο. Η τεχνολογία αυτή της πληροφορίας θα επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο όλων των σταδίων από την παραγωγή στην κατανάλωση της ενέργειας, την αμφίδρομη πλέον επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης (επιτρέποντας έτσι στον καταναλωτή να συμμετέχει και αυτός στην παραγωγή), την εξασφάλιση βιωσιμότητας (sustainability) και ποιότητας υπηρεσιών, την κατανεμημένη (distributed) παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την επεξεργασία της πληροφορίας σε τοπικό πλέον επίπεδο (χωρίς να χρειάζεται αποστολή της πληροφορίας σε κεντρικό σημείο), την αποθήκευση πλέον της παραγόμενης ενέργειας και τέλος την έξυπνη μέτρηση της κατανάλωσης της ενέργειας. Όλα τα παραπάνω έχουν σαν σκοπό την εξασφάλιση:

- Αξιοπιστίας με τον σχεδιασμό του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ανιχνεύει την αιτία των προβλημάτων του και να τα διορθώνει, βρίσκοντας παράλληλα και εναλλακτικούς τρόπους τροφοδότησης του δικτύου σε περιπτώσεις που οι υπάρχοντες δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις. Αυτή η δυνατότητα θα μειώσει σαφώς και τον κίνδυνο για blackouts τα οποία έχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο σε κοινωνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο.
- Αποδοτικότητας με την αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών πηγών ενέργειας με σκοπό τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ενέργειας. Επίσης θα είναι εφικτή και η συμμετοχή του πελάτη στην διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας κάτι το οποίο μπορεί να γίνει μέσω προγραμμάτων τύπου demand-response.
- Ασφάλειας με τη χρήση πιο προσεγγμένου και αποτελεσματικού συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης της συνολικής διαδικασίας ηλεκτροδότησης.

2.2 Τα πλεονεκτήματα ενός Ευφυούς Δικτύου

Στις 13 Σεπτεμβρίου του 2011 το Τμήμα Εμπορίου του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογιών (National Institute of Standards and Technology - NIST) των ΗΠΑ και η Συντονιστική Επιτροπή Έξυπνων Δικτύων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Smart Grid Coordination Group - SG-CG), σε κοινή τους ανακοίνωση δήλωσαν την πρόθεσή τους να συνεργαστούν για την ανάπτυξη κοινών προτύπων για τη σχεδίαση και λειτουργία των Smart Grids, ώστε να επιτευχθεί η μεταξύ τους διαλειτουργικότητα [15, 16]. Οι δύο αυτοί οργανισμοί εκδίδουν κατά καιρούς διάφορες αναφορές. Χρησιμοποιώντας τις [18] και [19] μπορούμε να συνοψίσουμε ένα σύνολο από πλεονεκτήματα τα οποία αναμένουμε να μας παρέχει το έξυπνο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

- Μεγαλύτερη αξιοπιστία και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (Μέσω υιοθέτησης ενός καταναλωμένου μοντέλου παραγωγής ενέργειας).
- Καλύτερη αξιοποίηση της υφιστάμενης υποδομής και των εναλλακτικών μορφών ενέργειας προκειμένου να μη χρειάζεται πλέον η χρήση απαρχαιωμένων ηλεκτροπαραγωγών σταθμών (που μολύνουν το περιβάλλον) για κάλυψη της ζήτησης.
- Ευέλικτος σχεδιασμός που να επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί αυτοάνοσα σε περιπτώσεις βλάβης.
- Προστασία του περιβάλλοντος μέσω της αξιοποίησης εναλλακτικών μορφών ενέργειας που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση εκπομπής ρυπογόνων παραγόντων στην ατμόσφαιρα.
- Ενεργός συμμετοχή του καταναλωτή στην προσπάθεια για εξοικονόμηση ενέργειας (μέσω προγραμμάτων demand response και δυναμικής χρέωσης κιλοβατώραν αναλόγως της ώρας της ημέρας).
- Δυνατότητα πιο ακριβούς πρόβλεψης της ζήτησης μέσω επεξεργασίας δεδομένων που λαμβάνονται από έξυπνους μετρητές (πράγμα το οποίο συνεπάγεται μειωμένη σπατάλη ενέργειας και μικρότερο ρίσκο για διακοπές παροχής).

2.3 Ανάγκες και προκλήσεις του Έξυπνου Δικτύου

Οι ανάγκες αλλά και οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει το έξυπνο δίκτυο στα αμέσως επόμενα χρόνια μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες είναι :

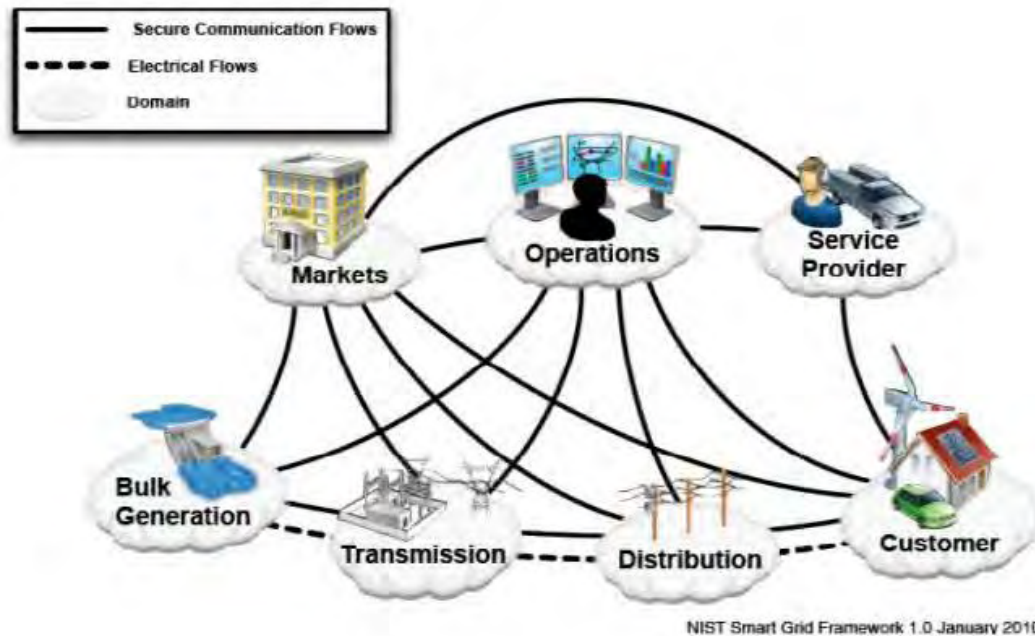
- **Προκλήσεις του περιβάλλοντος:** Η παραγωγή με τον παραδοσιακό τρόπο ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγαλύτερη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και αυτό πρέπει σύντομα να αλλάξει ώστε να μειωθεί η επίδραση στη κλιματική αλλαγή. Επίσης τα ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης που χρησιμοποιούνται σαν πηγές ενέργειας αναμένεται να έχουν ανεπάρκεια στις επόμενες δεκαετίες. Επίσης ο διαθέσιμος χώρος που χρειάζεται για την μελλοντική επέκταση του δικτύου έχει μειωθεί.
- **Ανάγκες των καταναλωτών:** Είναι απαραίτητο να έχουμε την ανάπτυξη ολοκληρωμένων τεχνολογιών λειτουργίας του συστήματος αλλά και πολιτικές για την αγορά ενέργειας με σκοπό να υποστηριχθεί η διαφάνεια αλλά και η ελεύθερη ανταγωνιστική αγορά. Για να υπάρξει ικανοποίηση των πελατών από τις υπηρεσίες του δικτύου θα πρέπει να βελτιωθεί η παροχή υψηλού λόγου ποιότητας/τιμής όπως και να δοθεί η δυνατότητα στους καταναλωτές να έχουν αλληλεπίδραση με το δίκτυο.
- **Προκλήσεις υποδομής:** Η υποδομή του δικτύου που υπάρχει σήμερα περιέχει πολλά στοιχεία που γερνούν και φθείρονται γρήγορα. Με τις απαιτήσεις για όλο και αυξανόμενο φορτίο να πιέζουν το δίκτυο εμφανίζει όλο και χειρότερη συμφόρηση. Έτσι απαραίτητα στοιχεία για να έχουμε ένα πιο αξιόπιστο δίκτυο είναι τα γρήγορα εργαλεία real-time ανάλυσης, οι μετρήσεις, ο αυτόματος έλεγχος όπως και η σωστή προστασία από σφάλματα.
- **Καινοτόμες τεχνολογίες:** Το υπάρχον δίκτυο πρέπει να αναβαθμιστεί ώστε να υπάρχει συμβατότητα με καινοτόμες τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων νέων υλικών, προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών επικοινωνιών. Με αυτό τον τρόπο θα έρθει η επανάσταση στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4 Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου

Υπάρχει μια πληθώρα τρόπων με τους οποίους μπορεί κανείς να περιγράψει ένα Έξυπνο Δίκτυο. Ένας τρόπος ο οποίος αξιοποιείται συχνά στη βιβλιογραφία [19, 20] αφορά στην απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου ως ενός συνόλου από οντότητες οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο τρόπος αυτός όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον οργανισμό NIST, προσφέρει μια αφαιρετική απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου σε υψηλό επίπεδο, χωρίζοντάς το σε επτά συνεργαζόμενους τομείς-δίκτυα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει μια ή περισσότερες οντότητες - συσκευές, συστήματα ή προγράμματα (όπως π.χ. smart meters, συστήματα SCADA κτλ..) τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορίες και λαμβάνουν αποφάσεις για την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας του. Όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.2 οι επτά τομείς στους οποίους μπορούμε να χωρίσουμε ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι οι Πελάτες, οι Αγορές, οι Πάροχοι Υπηρεσιών, οι Λειτουργίες, η Παραγωγή, η Μεταφορά και η Διανομή. Ακολουθεί μια περιγραφή των οντοτήτων τις οποίες περιλαμβάνει κάθε τομέας του μοντέλου.

- **Πελάτες** : Τομέας που περιλαμβάνει τόσο τους καταναλωτές όσο και τις συσκευές που αυτοί διαθέτουν για να παράγουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται την ενέργεια. Τυπικά αναφερόμαστε σε τρεις τύπους πελατών. Πελάτες του δικτύου με σκοπό την οικιακή χρήση ηλεκτρισμού, πελάτες με σκοπό την εμπορική χρήση και πελάτες με σκοπό τη βιομηχανική χρήση.
- **Αγορές** : Τομέας που περιλαμβάνει τους λειτουργούς και τους συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας.
- **Πάροχοι Υπηρεσιών** : Τομέας που αφορά στους οργανισμούς οι οποίοι προσφέρουν υπηρεσίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες αλλά και παρόχους άλλων υπηρεσιών.
- **Λειτουργίες** : Τομέας που έχει να κάνει με τους διαχειριστές της διακίνησης ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δικτύων.
- **Παραγωγή** : Τομέας που περιλαμβάνει το σύνολο των γεννητριών και ηλεκτροπαραγωγών σταθμών που παράγουν ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας για διάθεση σε κατοπινό στάδιο.
- **Μεταφορά** : Τομέας που αναφέρεται στην υποδομή για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις. Ενδεχομένως να περιλαμβάνει μέσα για την αποθήκευση ή παραγωγή ενέργειας κατά τόπους.

- **Διανομή** : Τομέας που έχει να κάνει με την υποδομή που υπάρχει για διανομή ηλεκτρικής ενέργειας από και προς πελάτες, ο οποίος ενδεχομένως να περιλαμβάνει και την αποθήκευση ενέργειας ή την παραγωγή της.



Σχήμα 2.2: Το Έξυπνο Δίκτυο σύμφωνα με το μοντέλο του NIST σαν ένα σύνολο οντοτήτων που εξαρτώνται μεταξύ τους

Γενικότερα ισχύει ότι οι οντότητες σε κάθε τομέα έχουν κοινούς στόχους και για να το επιτύχουν αυτό πρέπει να υπάρχει συνεργασία τόσο μεταξύ τους όσο και με διαφορετικές οντότητες άλλων τομέων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο διαχωρισμός των οντοτήτων σε τομείς δεν είναι απόλυτος και αντικειμενικός γιατί σε πολλές περιπτώσεις μια οντότητα μπορεί να επιτελεί μια λειτουργία που βασίζεται σε πληροφορία από άλλους τομείς. Για παράδειγμα το δίκτυο Διανομής αφορά τον τομέα Διανομής αλλά και τον τομέα Λειτουργιών αφού εκεί εμπíπτουν τα συστήματα διαχείρισης δικτύων διανομής.



Σχήμα 2.3 : Το όραμα ενός μελλοντικού Έξυπνου Δικτύου Μεταφοράς

2.5 Χαρακτηριστικά των Έξυπνων Δικτύων

Στο σχήμα 2.4 φαίνονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα έξυπνο δίκτυο τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω. Είναι φανερό το γεγονός ότι διασυνδέονται με μια σχέση αιτίου – αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν επίσης προκλήσεις που θα πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπ' όψη κατά την διαδικασία σχεδιασμού ενός έξυπνου δικτύου.



Σχήμα 2.4: Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός Έξυπνου Δικτύου και οι απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιεί.

Αξιοπιστία και Ευστάθεια (Reliability and Stability)

Χρησιμοποιώντας τον όρο αξιοπιστία αναφερόμαστε στην ικανότητα που έχει ένα σύστημα ή ακόμα και στοιχείο αυτού να εκτελούν κάποιες απαιτούμενες λειτουργίες για καθορισμένο χρονικό διάστημα και υπό δεδομένες συνθήκες. Η αξιοπιστία δηλαδή αποτελεί κατά κάποιον τρόπο ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε γενικές γραμμές μας δείχνει τη λειτουργική υγεία και τον

βαθμό μεταβλητότητας ολόκληρου του συστήματος. Επιπλέον με την βοήθεια αποτελεσματικών μετρήσεων και εκτιμήσεων μας παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα μπορεί να διατηρήσει. Έτσι λόγω της αξιοπιστίας απαίτησή μας είναι οι βλάβες στο σύστημα να συμβαίνουν με την μικρότερη δυνατή πιθανότητα, ενώ ακόμα και σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωση που θα έχει στο συνολικό σύστημα να είναι η ελάχιστη δυνατή και το δυσλειτουργικό αυτό στοιχείο να αντικατασταθεί ή ακόμα και να επιδιορθωθεί σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα. Όμως η αξιοπιστία δεν είναι πάντα δεδομένη και εξαρτάται από την επίτευξη πολλών άλλων καθοριστικών παραγόντων που αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους.

Η ευστάθεια τώρα ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο σύστημα. Ένα έξυπνο δίκτυο προφανώς και πρέπει να εγγυάται την σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος στα επιθυμητά όρια, να περιορίζει την ζήτηση αιχμής και την μεταβλητότητα του φορτίου με την κατανομή της ηλεκτροπαραγωγής και την αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις και να αποκλείει διάφορα άλλα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά.

Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα (Measurability and Controllability)

Οι βλάβες στα δίκτυα όπως και η διακοπή υπηρεσιών είναι πολύ σοβαρά περιστατικά και είναι αρκετά πιθανό να συμβούν. Σημαντικό είναι τα προβλήματα αυτά να είναι μετρήσιμα και ελέγξιμα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να εκτελεστούν σκόπιμες αξιολογήσεις και εκτιμήσεις. Ένα έξυπνο δίκτυο έχει την ικανότητα να εντοπίζει και να διορθώνει διαταραχές στην λειτουργία του μέσω δυναμικών μετρήσεων και real-time παρακολούθηση. Επίσης στο δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει και κάποιος ικανός βαθμός παρατηρησιμότητας και διαφάνειας με σκοπό την αποτελεσματική ανάλυση και διαχείριση όπως επίσης και την πρόβλεψη και αντίδραση στις όποιες μεταβαλλόμενες καταστάσεις μπορεί να μεταβεί το δίκτυο. Τέλος ο τεράστιος όγκος πληροφοριών και δεδομένων που στην ουσία καθιστά ένα δίκτυο έξυπνο πρέπει και αυτός να είναι μετρήσιμος, παρατηρήσιμος και διαχειρίσιμος.

Ευελιξία και Κλιμάκωση (Flexibility and Scalability)

Το δίκτυο κινείται από μια κεντρική δομή σε πολλαπλά αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Microgrids - MGs). Η κλιμάκωση του έξυπνου δικτύου είναι σημαντικό να οριστεί καλά. Μέσω της νησιδοποίησης (islanding), τα μικροδίκτυα προσπαθούν να ενσωματώσουν την καταναμεμημένη παραγωγή (DG) και την αποθήκευση ενέργειας για να συνεισφέρουν ενέργεια στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιόδους ζήτησης αιχμής. Η λειτουργία της νησίδας εισάγει μια έννοια ενός γιγάντιου έξυπνου δικτύου που αποτελείται

από πολλαπλά μικρά έξυπνα δίκτυα. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας.

Η ευελιξία επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται. Θα λέγαμε ότι παρουσιάζει τέσσερις πτυχές:

- α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διείσδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής,
- β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τα κλίματα,
- γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου,
- δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα στυλ λειτουργίας της αγοράς και plug-and-play ικανότητα να φιλοξενήσει σταδιακή αναβάθμιση με συστατικά υλικού και λογισμικού της τεχνολογίας.

Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που λειτουργούν στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

Διαθεσιμότητα (Availability)

Η διαθεσιμότητα της ενέργειας αλλά και των επικοινωνιών είναι απαραίτητα συστατικά για την ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση (latency) ή την ασφάλεια, ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται είναι αρκετά υψηλός. Για παράδειγμα η καθυστέρηση στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, όμως μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service – DoS) μπορεί να εξασθενήσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες προσωρινά μη διαθέσιμες. Ένας τρόπος λύσης του προβλήματος αυτού θα μπορούσε να είναι ο πλεονασμός (redundancy). Όμως, ακόμα και με τον πλεονασμό η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από τον σχεδιασμό του συστήματος για να αποφεύγει παράλληλα και το κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας του δικτύου καθώς και από το ζήτημα της κλιμάκωσης.

Ανθεκτικότητα (Resiliency)

Ο βαθμός της ανθεκτικότητας καθορίζει πόσο πραγματικά αξιόπιστο είναι το έξυπνο δίκτυο όταν συμβαίνουν διάφορα περιστατικά. Γενικά, το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη σκοπιά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα αναπαριστά την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από τις

οποιοσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτό-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμψει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα ηλεκτρικά στοιχεία είναι πιθανότατα οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Σχέδια έκτακτης ανάγκης απαιτούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

Δυνατότητα Συντήρησης (Maintainability)

Η ικανότητα της συντήρησης δείχνει στην ουσία την αξιοπιστία ενός συστήματος αλλά και την μακροβιότητά του. Επίσης δείχνει την ικανότητα του συστήματος να εκτελεί ορθά και αποδοτικά μια σειρά από δράσεις που αποτελούν εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες αυτές που γίνονται ειδικά κατά την συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Ένα έξυπνο δίκτυο σαφώς και θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει την συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια και διαχείριση του δικτύου) που διαθέτει να μπορούν να επιδιορθωθούν ταχύτατα και με όσο το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο. Επίσης, η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, καθώς και η αποδοτικότητα των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελούν σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

Βιωσιμότητα (Sustainability)

Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από τη ζήτηση αιχμής καθιστούν κρίσιμη απαίτηση για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου μεταφοράς τη βιωσιμότητα, η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Η διαλειτουργικότητα που παρουσιάζει η υποδομή ενός συστήματος είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνη για την αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης ενός συστήματος. Ένα έξυπνο δίκτυο έχει κατασκευαστικά στοιχεία που προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για την διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των επικοινωνιών. Η δυνατότητα αυτή απαιτείται κατά την ενσωμάτωση διάφορων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο, αλλά και να παρέχουν ασταμάτητη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Μια όχι ορθή αλληλεπίδραση μεταξύ των διάφορων ποικιλόμορφων μερών θα σήμαινε επιβράδυνση του χρόνου απόκρισης και θα υποβάθμιζε την λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητά του.

Ασφάλεια (Security)

Η έννοια της ασφάλειας απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα υπάρχοντα μέτρα και εργαλεία ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network-VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης. Θα αναφερθούμε σε κάποια θέματα ασφάλειας εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Βελτιστοποίηση (Optimization)

Η βελτιστοποίηση των στοιχείων ενός έξυπνου δικτύου αλλά και της λειτουργίας του είναι μια πολύ σημαντική ανάγκη. Αυτό μπορεί να καταστεί δυνατό με την βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογιών, των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent Electronic Devices – IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμούς, εξισορροπώντας έτσι μια ποικιλομορφία μεταβλητών και tradeoffs.

Ένα έξυπνο δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με τους εξής όρους:

- Αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας
- Ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας
- Διαθεσιμότητας κατά την μεταφορά ενέργειας και δεδομένων
- Αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών

- Χρονικής απόκρισης και διαχείρισης σφαλμάτων
- Οικονομικό κέρδος

Επίσης μπορούμε να πούμε ότι η μείωση του κόστους κεφαλαίου, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η χρήση των πόρων είναι θέματα τεράστιας σημασίας για το έξυπνο δίκτυο που θα αναπτυχθεί στην πράξη.

Εκτός από όσα εμφανίζονται στο σχήμα 2.4 και αναλύθηκαν παραπάνω, ως επιπλέον ιδιότητες ενός μελλοντικού έξυπνου δικτύου θα μπορούσαμε να αναφέρουμε και τα παρακάτω :

Ψηφιοποίηση (Digitalization)

Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς. Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Αυτή η πλατφόρμα χαρακτηρίζεται από φιλική προς το χρήστη απεικόνιση για ενημέρωση ευαίσθητων καταστάσεων αλλά και από υψηλή ανοχή προς ανθρωπογενή λάθη.

Ευφυΐα (Intelligence)

Στο έξυπνο δίκτυο μεταφοράς θα χρησιμοποιηθούν ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία. Το σύστημα θα μπορεί να έχει αυτοεπίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του με την βοήθεια online ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, όπως είναι η ανάλυση της σταθερότητας τάσης – γωνίας και της ασφάλειας. Επίσης στο σύστημα θα είναι διαθέσιμη και αυτοθεραπεία με σκοπό να ενισχύσει την ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς μέσω κάποιων συντονισμένων σχημάτων προστασίας και ελέγχου.

Προσαρμογή (Customization)

Ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

2.6 Προκλήσεις αξιοπιστίας του δικτύου

Η ανάγκη ύπαρξης αξιοπιστίας βρίσκεται στην πρώτη γραμμή κατά τον σχεδιασμό και την λειτουργία του δικτύου, λόγω του πολύ υψηλού κόστους των απρογραμμάτιστων διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε σύγχρονο δίκτυο βρίσκεται αντιμέτωπο με πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την αξιοπιστία του και για αυτό γίνεται ακόμα πιο δύσκολο να επιτύχει τους στόχους για την ενίσχυσή της. Έτσι απαραίτητη είναι η ανάγκη για την αντιμετώπιση των παρακάτω προκλήσεων που μειώνουν την αξιοπιστία ενός δικτύου. Για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις αυτές απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μετάβαση προς ένα πιο έξυπνο δίκτυο το οποίο θα είναι ικανό να εκμηδενίσει τα προβλήματα ενός σύγχρονου δικτύου. Οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν και αποτελούν στόχο για την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων είναι [20] :

- Η αυξανόμενη συμφόρηση του δικτύου διανομής, λόγω μεταξύ άλλων της ποικιλομορφίας, της αβεβαιότητας και της όλο και αυξανόμενης ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές συνδεδεμένες πάνω στο δίκτυο.
- Οι αρκετά μεγάλου μεγέθους μεταφορές ενέργειας σε πιο μακρινές αποστάσεις που μειώνουν την ευστάθεια του δικτύου όπως και τα περιθώρια αξιοπιστής λειτουργίας.
- Η συχνή λειτουργία του δικτύου στα όριά του εξαιτίας :
 - Ανεπαρκών επενδύσεων
 - Αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας και υψηλότερη μέγιστη ζήτηση ισχύος
 - Προβλήματα στην υποδομή λόγω παλαιότητας
 - Μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης του εξοπλισμού χρησιμοποιώντας σύγχρονα εργαλεία για παρακολούθηση, ανάλυση και έλεγχο
- Η συνένωση των φορέων λειτουργίας η οποία προκαλεί πιο σύνθετα προβλήματα μειώνοντας τα περιθώρια λάθους αλλά και τους χρόνους αποφάσεων.

- Η ολοένα και αυξανόμενη διείσδυση της διανεμημένης παραγωγής που καθιστά δύσκολη την διάκριση μεταξύ μεταφοράς και διανομής και αυξάνει την πολυπλοκότητα και την αστάθεια του δικτύου.

2.7 Η επίδραση των κυριότερων στοιχείων του έξυπνου δικτύου στην αξιοπιστία του

Ανανεώσιμες πηγές

Οι περισσότερο αναπτυσσόμενες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αιολική και η ηλιακή. Μεγάλο πρόβλημα της αιολικής ενέργειας είναι η περιορισμένη προβλεψιμότητά της που φαίνεται από τους χαμηλούς συντελεστές χρησιμοποίησης σε σχέση με αυτούς των κλασσικών γεννητριών. Έτσι δημιουργούνται προβλήματα στον έλεγχο και την αξιοπιστία του δικτύου. Η μεταβλητότητα αυτή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας δεν ακολουθεί πάντα την μεταβλητότητα του φορτίου και συνεπώς δεν βοηθάει πάντα στην κάλυψη της μέγιστης ζήτησης αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα στις ώρες αιχμής να μην είναι διαθέσιμη.

Η άφθονη ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φθάνει πάνω στην επιφάνεια της γης ξεπερνά κατά 1000 περίπου φορές την ενέργεια που κάθε χρόνο παράγεται από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Οι κυριότερες τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά και τα ηλιοθερμικά συστήματα. Στην περίπτωση της ηλιακής ενέργειας η μεταβλητότητα εξαρτάται κυρίως από το κλίμα και την ύπαρξη ηλιακής ακτινοβολίας. Οι συντελεστές χρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών είναι περίπου 10-20%, ενώ στα ηλιοθερμικά συστήματα με δυνατότητα αποθήκευσης μπορεί να φτάσει ακόμα και στο 70%. Οι μεγάλες ηλιακές πηγές μπορεί να βρίσκονται μακριά από τα φορτία και έτσι να αντιμετωπίζουν τις όποιες δυσκολίες στην μεταφορά. Επίσης η ηλιακή ενέργεια συμπίπτει χρονολογικά με την αυξημένη ζήτηση ισχύος κατά τους θερινούς μήνες και έτσι η διαθεσιμότητά της εκείνη την περίοδο μπορεί να καλύψει τα αυξημένα φορτία κυρίως λόγω του κλιματισμού.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η γεωθερμία και η βιομάζα έχουν παρόμοια συμπεριφορά με την συμβατική παραγωγή ενέργειας όσον αφορά την πλευρά της αξιοπιστίας. Αυτό συμβαίνει σε αντίθεση με την ηλιακή και αιολική ενέργεια που έχουν αρνητική επίπτωση στην αξιοπιστία του δικτύου εξαιτίας κυρίως :

- Της μεταβλητότητας και των χαμηλών συντελεστών χρησιμοποίησης
- Της χαμηλής συσχέτισής τους με τις καμπύλες φορτίου ειδικά για την αιολική ενέργεια
- Της μεγάλης δυσκολίας πρόβλεψης για μακροχρόνιο διάστημα
- Της συμφόρησης στη μεταφορά και τη διανομή εξαιτίας της εγκατάστασης μεγάλων και διανεμημένων μονάδων
- Των ζητημάτων λειτουργικής απόδοσης όπως ο συγχρονισμός και η ρύθμιση τάσης

Μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί ως λύση στην κάλυψη της μεταβλητότητας του φορτίου οι συμβατικοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι υδροηλεκτρικοί και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί. Η ταχύτατη όμως ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κάνει επιτακτική την ανάγκη απόκρισης της ζήτησης και την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης της ενέργειας που μπορεί να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με τις συμβατικές λύσεις.

Διαχείριση φορτίου – Απόκριση ζήτησης

Η διαχείριση του φορτίου περιλαμβάνει την μείωση του φορτίου ως απόκριση σε κρίσιμες καταστάσεις και/ή σε υψηλές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν κυρίως κατά την διάρκεια περιόδων αιχμής ή σε περιπτώσεις κορεσμένης λειτουργίας του δικτύου. Η μείωση του φορτίου ως πρωτοβουλία του καταναλωτή αναφέρεται ως απόκριση της ζήτησης. Η απόκριση της ζήτησης σε καταστάσεις μη έκτακτης ανάγκης εκτιμάται σε εύρος 5% με 10% του μέγιστου φορτίου και μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, περιορίζοντας τις ανάγκες για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μειώνοντας τις τιμές του ηλεκτρισμού. Η απόκριση ζήτησης δεν μεταβάλλει σε αξιοσημείωτο βαθμό την συνολική κατανάλωση ενέργειας, αφού μεγάλο τμήμα της ενέργειας που εξοικονομείται κατά την περικοπή του φορτίου καταναλώνεται σε κάποια άλλη χρονική στιγμή. Ως αποτέλεσμα αυτού του χαρακτηριστικού της απόκρισης ζήτησης προκύπτει μια πιο επίπεδη καμπύλη φορτίου.

Η απόρριψη φορτίου (Load Shedding) για προστασία του δικτύου σε επείγουσες καταστάσεις εφαρμόζεται είτε με εντολή από τον διαχειριστή του συστήματος είτε μέσω ρελέ προστασίας σε περιπτώσεις υπότασης ή/και μειωμένης συχνότητας. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση του φορτίου ώστε να εκτελείται με περισσότερη ευφυΐα και μεγαλύτερη συμμετοχή από τους καταναλωτές. Η διαφορετική χρέωση της ηλεκτρικής

ενέργειας ανάλογα με την χρονική περίοδο, σε ένα έξυπνο δίκτυο, καθιστά δυνατή την αυξημένη εκούσια συμμετοχή των καταναλωτών μέσω αυτοματοποιημένης ή χειρονακτικής απόκρισης και μέσω επικοινωνίας του καταναλωτή με την εταιρία παροχής ή τον διαχειριστή του συστήματος. Η απόκριση της ζήτησης, με την ικανότητά της να συνεισφέρει στη διαμόρφωση μιας πιο επίπεδης καμπύλης φορτίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών με αποτέλεσμα την βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου .

Συσκευές αποθήκευσης

Μέχρι τώρα ο κυριότερος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας είναι τα συστήματα άντλησης και αποθήκευσης υδραυλικής ενέργειας. Όμως τα συστήματα αυτά δεν έχουν μεγάλη δυνατότητα ανάπτυξης σε σχέση με τη μεγάλη ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας που έχει προκύψει εξαιτίας της μεταβλητότητας της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι καινούργιες τεχνολογίες αποθήκευσης εμφανίζονται τα τελευταία χρόνια. Η μπαταρία είναι η πιο διαδεδομένη κυρίως λόγω του μικρού χώρου που καταλαμβάνει. Η αποθήκευση γρήγορης απόκρισης επιδρά στην καμπύλη ζήτησης κάνοντάς την πιο επίπεδη και έτσι σαφώς ενισχύεται η αξιοπιστία του δικτύου. Επίσης με τις μπαταρίες μπορούν να πραγματοποιηθούν ταχύτατοι έλεγχοι σε έξυπνα δίκτυα γιατί έχουν τη δυνατότητα απόκρισης σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Συνεπώς με διανεμημένη αποθήκευση κατά μήκος του δικτύου, σε καταναλωτές, σε υποσταθμούς αλλά και σε σταθμούς παραγωγής μπορούμε να επιτύχουμε αποσυμφόρηση των δικτύων μεταφοράς και διανομής.

2.8 Έξυπνα δίκτυα στην Ελλάδα

Στο συνέδριο “Recent Developments in the Greek Gas and Power Markets” που πραγματοποιήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου του 2014 ο τότε Διευθύνων Σύμβουλος του ΔΕΔΔΗΕ κ. Κ. Ζωντανός ανακοίνωσε ότι οι επενδύσεις του Διαχειριστή του ελληνικού δικτύου στην δημιουργία των έξυπνων δικτύων, τόσο στην πλευρά της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην πλευρά της κατανάλωσης θα ξεπεράσουν το ποσό του 1.5 δις Ευρώ έως το 2018.

Τα κυριότερα βήματα για να πραγματοποιηθεί αυτή η μεγάλη βελτιστοποίηση του δικτύου είναι η εισαγωγή του Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) με σκοπό να υποστηρίζονται εφαρμογές των ευφυών δικτύων, η λειτουργία του Συστήματος Τηλεμέτρησης Μέσης Τάσης όπως και η εφαρμογή των έξυπνων μετρητών στην Χαμηλή Τάση με την αρχική τοποθέτησή τους σε πιλοτικό στάδιο.

Ο σχεδιασμός του ΔΕΔΔΗΕ βάζει ως αρχική προτεραιότητα την δημιουργία ενός σύγχρονου δικτύου, καθώς σύμφωνα με τον Πρόεδρό του “ το όραμα για μια σύγχρονη αγορά περνάει μέσα από τα Δίκτυα”. Συγκεκριμένα τα κυριότερα έργα που είναι σε φάση υλοποίησης από τον ΔΕΔΔΗΕ είναι τα εξής:

- Εισαγωγή του Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), κάτι το οποίο αποτελεί το βασικότερο συστατικό της υποδομής που χρειάζεται για την υποστήριξη διάφορων εφαρμογών των Ευφυών δικτύων (Smart Grids) . Με την δυνατότητα αυτή ο ΔΕΔΔΗΕ έχει σκοπό να αποτυπώσει ολόκληρο το δίκτυό του σε ψηφιακά αρχεία. Τα αρχεία αυτά θα ενσωματώνουν πληροφορίες για τα δίκτυα συσχετίζοντάς τα με την γεωγραφική τους θέση. Αυτό το νέο σύστημα θα δώσει τη δυνατότητα να γίνονται σε γρήγορο χρόνο αλλαγές στις γεωγραφικές αλλά και στις περιγραφικές πληροφορίες των δικτύων αναβαθμίζοντας έτσι τις τεχνικές δραστηριότητες της διανομής. Με τον τρόπο αυτό όλοι οι χρήστες του δικτύου θα επωφεληθούν από τις αναβαθμισμένες υπηρεσίες που θα τους παρέχει ο ΔΕΔΔΗΕ.
- Έχει τεθεί σε λειτουργία το Σύστημα Τηλεμέτρησης Μέσης Τάσης, το οποίο εκτιμάται ότι διαχειρίζεται το 23% της συνολικής διανεμόμενης ενέργειας. Η τηλεμέτρηση αυτή χρησιμοποιεί το σύστημα GSM όπως και την τεχνολογία GPRS και αφορά περίπου 13.500 παραγωγούς και καταναλωτές της Μέσης Τάσης. Επίσης έχει εφαρμοστεί και το σύστημα τηλεμέτρησης παροχών μεγάλων πελατών Χαμηλής Τάσης που περιλαμβάνει περίπου 60.000 μετρητές παροχών και η επικοινωνία γίνεται όπως και στη προηγούμενη περίπτωση.
- Ο ΔΕΔΔΗΕ έχει επίσης προκηρύξει διαγωνισμό για υλοποίηση πιλοτικού συστήματος Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της ζήτησης παροχών ηλεκτρικής ενέργειας οικιακών και μικρών εμπορικών καταναλωτών και εφαρμογής έξυπνων δικτύων. Η υποβολή των προσφορών από τους ενδιαφερόμενους κατασκευαστές έχει ήδη γίνει και αναμένεται η τελική υλοποίηση του έργου. Με την ολοκλήρωση του έργου θα αποκτήσουν περίπου 200.000 έξυπνους μετρητές περιοχές όπως Ξάνθη, Λέσβος, Λευκάδα, Αττική, Θεσσαλονίκη αλλά και νησιά των Κυκλάδων όπως Σαντορίνη, Μήλος και Κύθνος.

Οι ενεργειακές συνήθειες των καταναλωτών θα αλλάξουν με τους μετρητές αυτούς βοηθώντας έτσι στην οικονομία αλλά και στην αναγκαία μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Το έργο αυτό θεωρείται καθοριστικής σημασίας καθώς στην συνέχεια ο ΔΕΔΔΗΕ θα προβεί στην αντικατάσταση περίπου 7 εκατομμυρίων υφιστάμενων μετρητών με έξυπνους μετρητές. Η αξία του συγκεκριμένου έργου αναμένεται να ξεπεράσει το 1 δις Ευρώ.

3. Χρέωση της ενέργειας και διαμόρφωση της τιμής

3.1 Η Δυναμική Τιμολόγηση

Καθώς οι βιομηχανίες συνεχίζουν το σχεδιασμό για την δημιουργία των έξυπνων δικτύων, τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον από δημόσιες κρατικές επιτροπές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Ο λόγος είναι ότι οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο δεν επιτρέπουν την αμφίδρομη σχέση με τον καταναλωτή ώστε να μπορεί ο ίδιος να είναι ρυθμιστής της κατανάλωσης ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του.

Διάφορες μελέτες ερευνητικών ομάδων έδειξαν πως το κόστος δεν κατανέμεται ισομερώς. Η μελέτη κατέδειξε ότι οι καταναλωτές οι οποίοι βρίσκονταν υπό το 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 κατά τις ώρες αιχμής.

Με τον όρο **Δυναμική Τιμολόγηση** (dynamic pricing) αναφερόμαστε στην δυνατότητα που δίνει ο πάροχος στον πελάτη του, να τιμολογείται με μία τιμή που διαφέρει από ώρα σε ώρα, ενώ για κάθε 24ώρο, οι τιμές ανακοινώνονται από μία μέρα έως και λίγες ώρες πριν. Για τον υπολογισμό δε αυτής, λαμβάνεται υπόψη η τιμή στην χονδρική αγορά, το κόστος για την χρήση των δικτύων, το κέρδος του παρόχου και άλλες χρεώσεις. Με τον τρόπο αυτό, οι καταναλωτές εκτίθενται πλήρως στο ρίσκο της τιμής που διαμορφώνεται ανά ώρα, αλλά γλιτώνουν την χρέωση που θα τους επέβαλλε ο πάροχός τους, εάν αναλάμβανε εκείνος να διαχειριστεί το ρίσκο αυτό.

Όσοι ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα γνωρίζουν και αποδέχονται ότι τα σημερινά επίπεδα τιμολόγια τα οποία δεν μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης της ενέργειας είναι υποδεέστερα από οικονομικής άποψης σε σχέση με τα δυναμικά τιμολόγια τα οποία μεταβάλλονται σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με το παραγωγικό κόστος της ενέργειας. Με μια μετάβαση όμως σε δυναμικά τιμολόγια αναμένεται ότι κάποιοι καταναλωτές θα ωφεληθούν οικονομικά ενώ άλλοι θα χάσουν. Εκείνοι οι οποίοι θα χάσουν είναι αυτοί που πραγματοποιούν την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε ώρες αιχμής. Αντίθετα εκείνοι που θα κερδίσουν είναι αυτοί που παρουσιάζουν την λεγόμενη “ επίπεδη” κατανάλωση δηλαδή δεν καταναλώνουν μεγάλη

ποσότητα ενέργειας στις ώρες αιχμής. Επίσης υπάρχουν και οι καταναλωτές που ούτε θα χάσουν αλλά ούτε και θα κερδίσουν γιατί η κατανάλωσή τους παρουσιάζει ένα προφίλ που ταυτίζεται με την καμπύλη φορτίου του συστήματος.

Έτσι με την δυναμική τιμολόγηση έχουμε μια αύξηση της γενικότερης ευημερίας αλλά δημιουργούμε χαμένους και κερδισμένους κατά την μετάβαση σε αυτή. Οι χαμένοι μπορούν να επωφεληθούν (μειώνοντας τις απώλειές τους) στο μέτρο που μπορούν να αλλάξουν καταναλωτική συμπεριφορά πράγμα που είναι απολύτως αναμενόμενο να συμβεί γιατί σε αυτό θα βοηθήσει η τεχνολογία του έξυπνου δικτύου. Εάν μας ενδιαφέρει να μάθουμε ποιοι θα κερδίσουν και ποιοι θα χάσουν άμεσα η απάντηση διαισθητικά ταιριάζει με το λαϊκό περί δικαίου αίσθημα. Οι πλουσιότεροι και οι μεγάλες επιχειρήσεις θα χάσουν (υποθέτοντας ότι αυτοί χρησιμοποιούν περισσότερο κλιματισμό) και οι υπόλοιποι όπως κοινοί οικιακοί καταναλωτές θα έχουν όφελος.

Εάν η δυναμική τιμολόγηση είναι πλέον και ηθικά αποδεκτή αυτό σημαίνει ότι τα σημερινά επίπεδα τιμολόγια είναι άδικα. Σύμφωνα με τον κύριο Ahmad Faruqi, ειδικού στην δυναμική τιμολόγηση στις ΗΠΑ μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση της αδικίας αυτής σύμφωνα με την μέθοδό του. Το αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής δίνει μια μεταφορά ποσού 4 δις δολαρίων σε μια δεκαετία από τους αιχμιακούς στους επίπεδους για ένα σύνολο 10 εκατομμυρίων καταναλωτών. Οι ίδιοι υπολογισμοί έγιναν για την περίπτωση της ελληνικής αγοράς από τα στελέχη της εταιρίας Clarus ESCo. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα με τα σημερινά τιμολόγια οι επίπεδοι καταναλωτές επιδοτούν τους αιχμιακούς με ένα ποσό που εκτιμάται στα 300 εκατομμύρια ευρώ τον χρόνο.

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:

- Όταν δίδεται στους καταναλωτές ισχυρό μήνυμα μέσω των τιμών ανταποκρίνονται μειώνοντας την αιχμή της ζήτησής τους
- Όσο πιο ισχυρό είναι το μήνυμα τόσο πιο μεγάλη είναι η απόκριση σε μείωση της ζήτησης στην αιχμή.
- Η αύξηση της ανταπόκρισης αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό ακολουθώντας μια ασυμπτωτική καμπύλη κορεσμού παρά μια ευθεία.



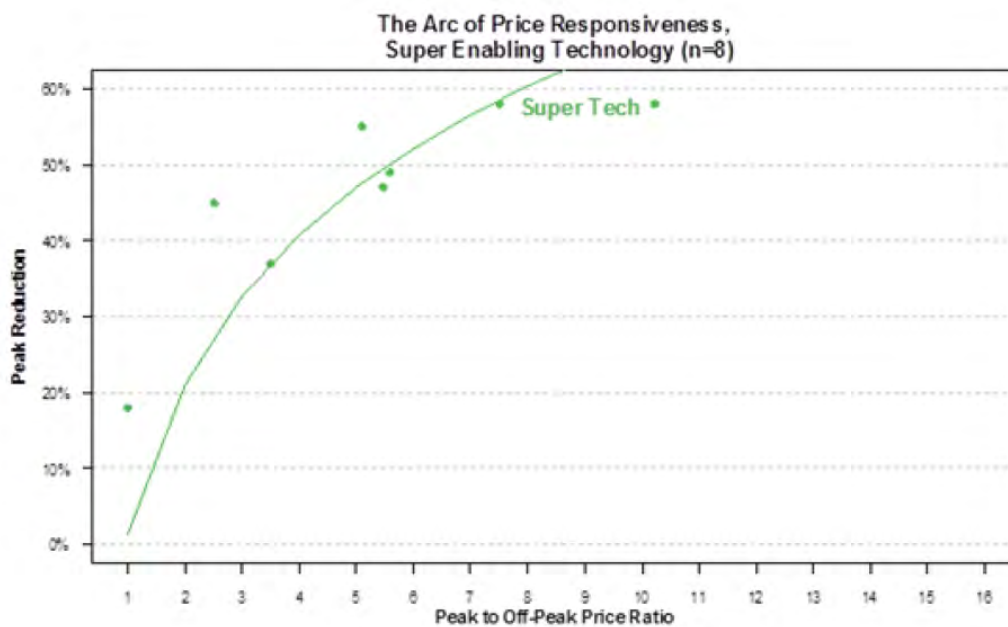
Σχήμα 3.1: Μείωση της αιχμής σε σχέση με την διαφορά τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας (έρευνα Ahmad Faruqi)

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 3.2).



Σχήμα 3.2: 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 3.3).



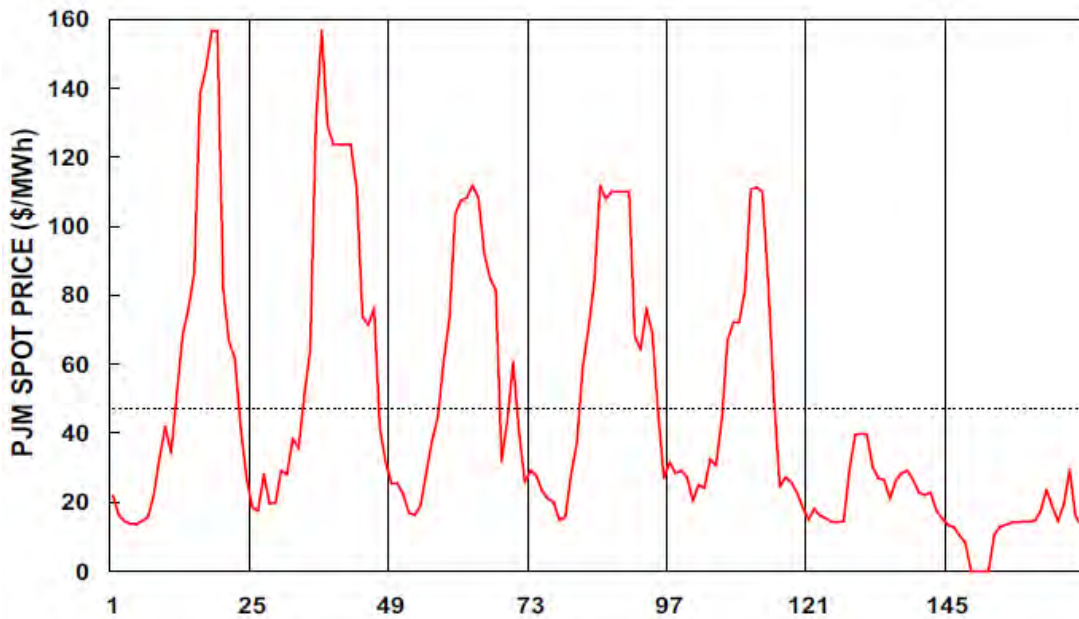
Σχήμα 3.3: Τα αποτελέσματα πιλοτικών πειραμάτων με χρήση πολύ εξελιγμένης τεχνολογίας

3.2 Μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας

Όσον αφορά τις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (χονδρική αγορά) μπορούμε να πούμε ότι δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές όσον αφορά τον ανταγωνισμό, λόγω κυρίως της αδυναμίας των πελατών της λιανικής αγοράς και των φορτίων τους να συμμετέχουν σε αυτές. Έτσι στην χονδρική αγορά η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταβληθεί από ώρα σε ώρα, ακόμα και σε ποσοστά 30-50% κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Οι λόγοι για τους οποίους παρουσιάζεται αυτή η αύξουσα ή μειωτική συμπεριφορά στη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

- Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει 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 μία συμβατική μονάδα ορυκτών καυσίμων ανέρχεται περίπου στα 100\$/MWh).
- Το φορτίο του συστήματος, μεταβάλλεται από ώρα σε ώρα.
- Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί με οικονομικό τρόπο, και έτσι πρέπει να καταναλώνεται την ίδια στιγμή που παράγεται.
- Συμβάντα όπως ξαφνική απώλεια μονάδων, του δικτύου ή ακραία καιρικά φαινόμενα, συχνά προκαλούν ανισορροπίες μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς. Μάλιστα, η επαναφορά του συστήματος είναι ακριβή διαδικασία.
- 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 μία μονάδα σε λειτουργία (ακόμα και αν αυτό δεν είναι απαραίτητο) παρά να κλείσει και να επαναλειτουργήσει αργότερα.

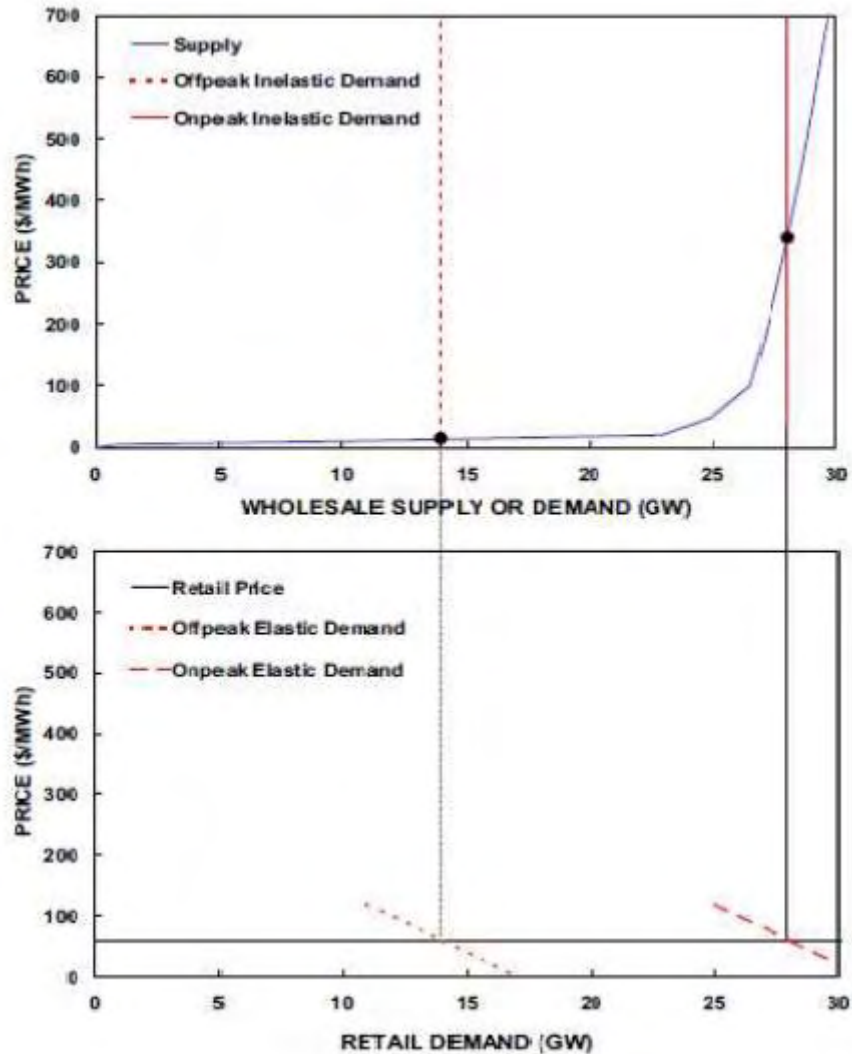
Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.4) παρουσιάζεται η διακύμανση τις τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα που διαχειρίζεται η εταιρεία PJM interconnection για λογαριασμό κάποιων πολιτειών των ΗΠΑ για μία βδομάδα του Ιουλίου.



Σχήμα 3.4: Διακυμάνσεις στις ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για σύστημα που διαχειρίζεται η PJM

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται από τα 0 \$/MWh στα 157 \$/MWh σε διάστημα μιας εβδομάδας. Επίσης η μέση τιμή της ενέργειας βρίσκεται περίπου στα 47 \$/MWh αλλά παρουσιάζει μια πολύ μεγάλη διασπορά. Μια παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και σε κάθε άλλη αγορά ενέργειας μιας ανεπτυγμένης χώρας. Έτσι κρίνεται αναγκαίο για τις εταιρίες που εμπορεύονται την ηλεκτρική ενέργεια, να αναλαμβάνουν και να διαχειρίζονται το ρίσκο το οποίο υπάρχει σε τέτοιου είδους αγορές μεταφέροντας το κόστος αυτό στον τελικό καταναλωτή.

Οι καταναλωτές θα αγοράσουν την ηλεκτρική ενέργεια σε τιμές που είναι ανεξάρτητες από τον χρόνο, καθώς αυτές καθορίζονται πολύ πριν την χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος από αυτούς. Συνεπώς οι καταναλωτές είναι μπορούμε να πούμε τελείως απομονωμένοι από την αυξομείωση στην τιμή της χονδρικής αγοράς. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρακάτω (Σχήμα 3.5) είναι διακριτό το μεγάλο χάσμα μεταξύ της χονδρικής και λιανικής αγοράς σε ένα σύστημα των ΗΠΑ που διαχειρίζεται η εταιρεία California Power Exchange.



Σχήμα 3.5: Το χάσμα μεταξύ λιανικής και χονδρικής αγοράς σύμφωνα με την California Power Exchange

Στο πρώτο διάγραμμα φαίνεται μια τυπική καμπύλη φορτίου, στην οποία παρατηρούμε ότι όσο περισσότερη ισχύς παράγεται, τόσο αυξάνεται και η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως η ζήτηση των καταναλωτών μένει σταθερή για τις on και off-peak περιόδους. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω του γεγονότος πως αν και έχουν το δικαίωμα επιλογής μεταξύ πολλών εταιριών παροχής ενέργειας, δεν μπορούν να επιλέξουν τιμολόγια στα οποία η τιμή είναι εξαρτημένη με τον χρόνο. Στο δεύτερο διάγραμμα φαίνεται ότι η τιμή στην λιανική αγορά παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη από αυτή της χονδρικής και λόγω αυτού δεν αλλάζει και η συμπεριφορά του καταναλωτή. Εάν εκείνος όμως είχε την επιλογή να παρακολουθεί τις τιμές και να ρυθμίζει ανάλογα το φορτίο του η συμπεριφορά του θα ήταν σαν τις διακεκομμένες ευθείες. Πρακτικά δηλαδή, θα μείωναν την κατανάλωσή τους όταν η τιμή αυξάνονταν και αντιστρόφως.

3.3 Οι κυριότεροι παράγοντες τις τιμές

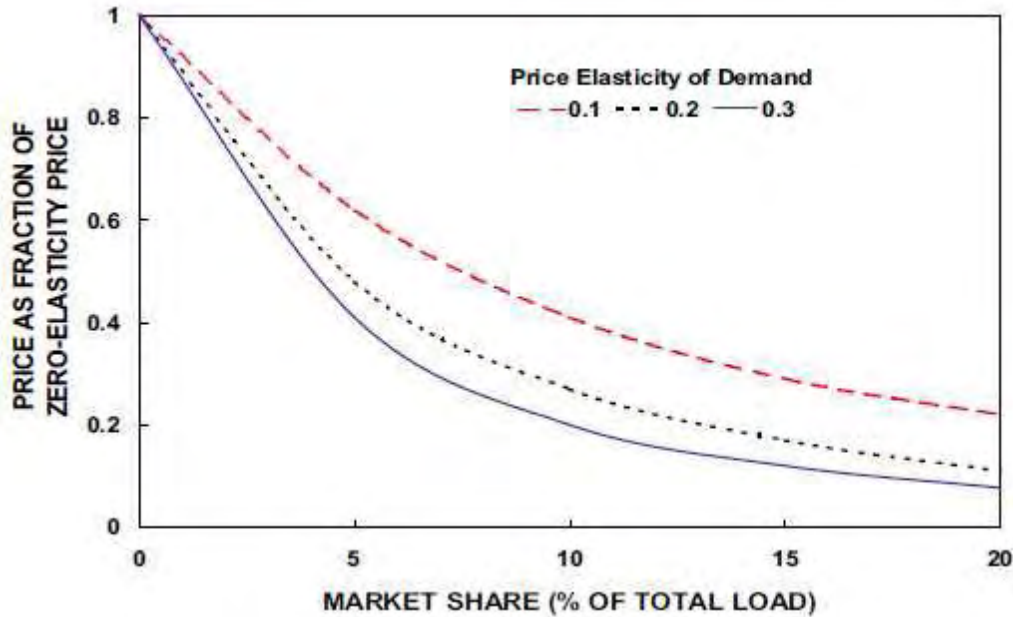
Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην λιανική αγορά αποτελείται από δύο κύριους παράγοντες, οι οποίοι όμως θα έπρεπε να τιμολογούνται ξεχωριστά:

- το προϊόν “ ηλεκτρικό ρεύμα”.
- την προστασία του καταναλωτή από την μεταβλητότητα της τιμής στην χονδρική αγορά.

Οι πελάτες θα έπρεπε να έχουν την ευκαιρία να παρακολουθούν αυτές τις τιμές. Επιτρέποντας τους αυτό, η αγορά γίνεται πολύ πιο ανταγωνιστική, οικονομικά πιο αποτελεσματική, τα δίκτυα πιο σταθερά και ασφαλή ενώ παράλληλα μειώνονται και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το να έχει την δυνατότητα ο καταναλωτής να επιλέξει μέσα από μία πληθώρα τιμολογιακών πολιτικών, είναι κάτι ουσιαστικό 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 τις ώρες αιχμής, όπου το σύστημα είναι συνήθως πολύ πιεσμένο. Μάλιστα, τις μειώσεις στις τιμές αυτές απολαμβάνουν όλοι οι καταναλωτές και όχι μόνο εκείνοι που ρυθμίζουν την κατανάλωσή τους. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.6), ακόμα και να μειώνονταν το φορτίο κατά ένα μικρό μόνο ποσοστό, ως απόκριση των καταναλωτών στην χρονικά μεταβαλλόμενη τιμή, τα αποτελέσματα θα ήταν εκπληκτικά, σύμφωνα με μία μελέτη.



Σχήμα 3.6: Η επίδραση της ζήτησης που καθορίζεται με βάση τις τιμές της χονδρικής αγοράς ως ποσοστό της ελαστικότητας τις τιμές αυτής

3.4 Απόκριση ζήτησης

Χρησιμοποιώντας τον όρο της απόκρισης ζήτησης αναφερόμαστε στις μεταβολές του προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών καταναλωτών ως απόκριση στις διακυμάνσεις της τιμής της κιλοβατώρας σε διάφορες χρονικές περιόδους. Ακόμη, αναφερόμαστε σε πληρωμές κινήτρων που είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να επιφέρουν μείωση της κατανάλωσης σε περιόδους που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει υψηλό κόστος ή όταν μπορεί να κινδυνεύσει το σύστημα και η αξιοπιστία του. Η απόκριση ζήτησης περιλαμβάνει όλες εκείνες τις τροποποιήσεις στην κατανάλωση ηλεκτρισμού που είναι σκόπιμες και έχουν στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης σε ώρες αιχμής μετατοπίζοντας την κατανάλωση σε ώρες που η ζήτηση είναι χαμηλή, ή σε μείωση του επιπέδου της μέγιστης ζήτησης χωρίς αντιστάθμιση σε ώρες αιχμής. Έτσι πετυχαίνεται η μετατόπιση των αιχμών ζήτησης της ενέργειας και υπέρθεσή τους ώστε να προκύψει μια αρκετά ομαλή καμπύλη ζήτησης και συμφέρουσα από την πλευρά του κόστους παραγωγής της ενέργειας.

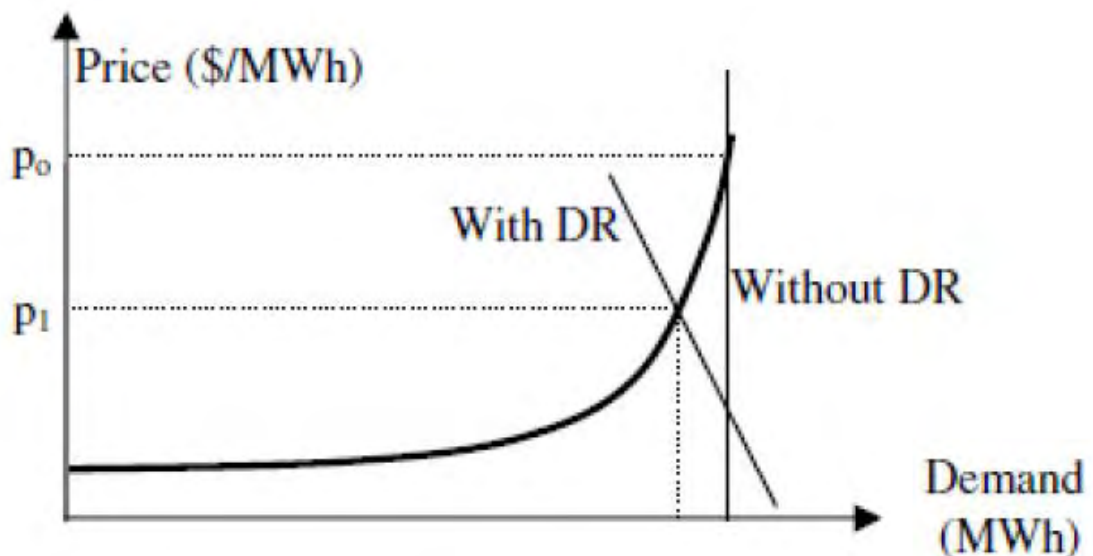
Για να κινητοποιηθούν όμως οι καταναλωτές πρέπει να υλοποιηθούν συγκεκριμένες ενέργειες, να υπάρχει κατάλληλος σχεδιασμός και να παρακολουθείται η ανταπόκρισή τους. Με τον τρόπο αυτό οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε τέτοια προγράμματα απόκρισης ζήτησης έχουν πλήρη ενημέρωση για τις διαφορετικές χρεώσεις της ενέργειας που καταναλώνουν και αυτό γίνεται με κάποια σήματα που μεταδίδονται από τον διαχειριστή του συστήματός τους (ΔΕΔΔΗΕ για την περίπτωση της Ελλάδας).

Οφέλη από την απόκριση ζήτησης

- Όσοι από τους καταναλωτές συμμετέχουν στα προγράμματα της απόκρισης ζήτησης μπορούν να επωφεληθούν από μειωμένους λογαριασμούς σαν ανταμοιβή για την μείωση της κατανάλωσης στις αιχμιακές ώρες. Επιπλέον σε συγκεκριμένες περιπτώσεις οι καταναλωτές μπορεί ακόμη και να πληρώνονται για την συμμετοχή τους στο πρόγραμμα ή να χρεώνονται με ακόμη χαμηλότερες τιμές για την αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους που δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση.
- Αντίστοιχες μειώσεις στο κόστος και οικονομικά οφέλη μπορεί να προκύψουν για όλους τους καταναλωτές του συστήματος, ανεξάρτητα δηλαδή από το αν συμμετέχουν στα προγράμματα αυτά. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές της ενέργειας μειώνονται λόγω της αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της υποδομής που υπάρχει και την μείωση της ανάγκης για παραγωγή ενέργειας από τις ακριβότερες μονάδες παραγωγής του συστήματος. Επιπλέον έτσι μπορεί να αναβληθεί η εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής και να μην χρειαστούν επεκτάσεις στο δίκτυο μεταφοράς.
- Μεγάλη βελτίωση παρουσιάζεται στην αξιοπιστία του δικτύου κάτι το οποίο έχει θετικά οφέλη για ολόκληρη την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διαχειριστές του δικτύου έχουν περισσότερες λύσεις για να διατηρηθεί η αξιοπιστία του δικτύου μειώνοντας έτσι τις ξαφνικές διακοπές παροχής ηλεκτρισμού, ενώ οι καταναλωτές έχουν λιγότερες διακοπές ρεύματος και μεγαλύτερη ικανοποίηση.
- Τέλος σημαντικό είναι ότι έτσι αυξάνεται η απόδοση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφού όσοι καταναλωτές συμμετέχουν στα προγράμματα απόκρισης ζήτησης μπορούν να διαμορφώσουν τις τιμές του ηλεκτρισμού και να επηρεάσουν την αγορά. Συνεπώς με την απόκριση ζήτησης μπορεί να μειωθεί η τάση που έχουν μεγάλες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρισμού να αυξάνουν σημαντικά τις τιμές τους, αρκετά πάνω από το κόστος παραγωγής.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.7) διακρίνεται εύκολα η επίδραση της απόκρισης ζήτησης στην διαμόρφωση της τελικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η δυνατότητα της απόκρισης ζήτησης να οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερες τιμές δικαιολογείται από το γεγονός

ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει κόστος που αυξάνεται εκθετικά όσο στενεύουν τα περιθώρια για αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, όταν η πολύ αυξημένη ζήτηση οδηγεί το σύστημα ενέργειας κοντά στα όριά του, η τιμή της κιλοβατώρας αυξάνεται επειδή αυξάνεται σημαντικά και το κόστος παραγωγής της. Συνεπώς, έστω και μια μικρή μείωση στη ζήτηση ενέργειας με την βοήθεια της απόκρισης ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη μείωση του κόστους παραγωγής και άρα σε μείωση της τιμής της κιλοβατώρας για τον καταναλωτή. Στο σχήμα που ακολουθεί η αρχική ζήτηση παρουσιάζεται με μια κάθετη γραμμή γιατί υποθέτουμε ότι το σύστημα λειτουργεί χωρίς κάποιο πρόγραμμα απόκρισης ζήτησης. Με την εφαρμογή κάποιων προγραμμάτων φαίνεται ότι εισάγεται μια αρνητική κλίση στην αρχική καμπύλη της ζήτησης και έτσι έχουμε μια αρκετά μεγάλη μείωση στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.7: Διαμόρφωση της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας με την επίδραση της απόκρισης ζήτησης

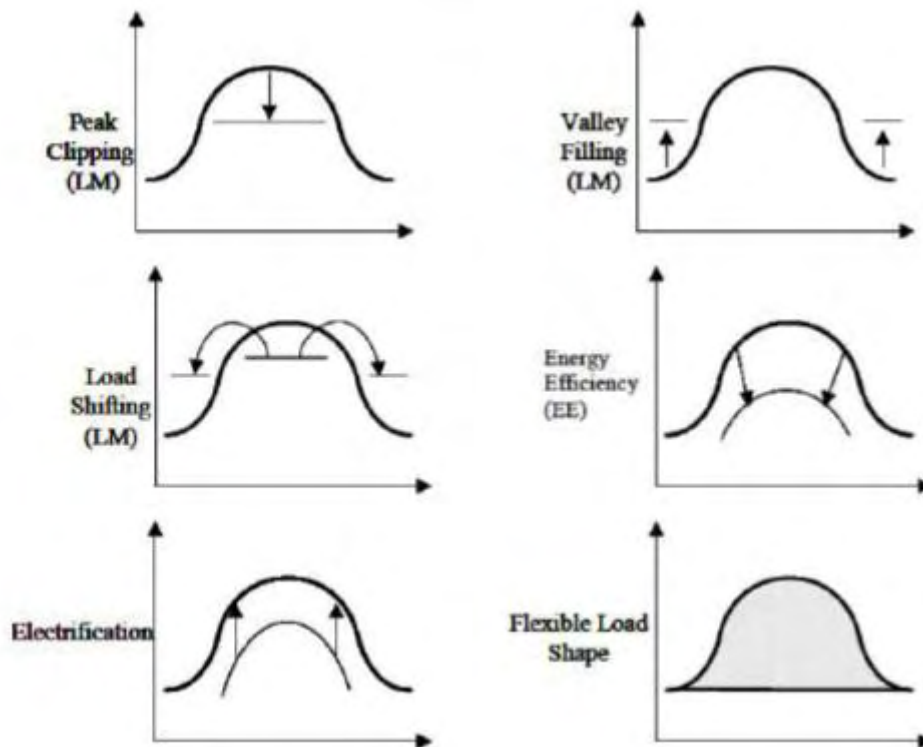
Διαφορετικοί τρόποι απόκρισης φορτίου

Για να ανταποκριθούν οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα απόκρισης ζήτησης σε υψηλές τιμές και σε επείγουσες καταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- **Μείωση μεγίστου:** Με τον τρόπο αυτόν οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν την χρήση του ηλεκτρισμού κατά τις ώρες υψηλών τιμών ή κρίσιμων γεγονότων ανάλογα με το πρόγραμμα στο οποίο συμμετέχουν, χωρίς να είναι απαραίτητο να

αντισταθμίσουν αυτή την μείωση. Σε τέτοια περίπτωση ο καταναλωτής υφίσταται κάποια απώλεια ανέσεων. Ένα απλό παράδειγμα τέτοιας απόκρισης είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στον θερμοστάτη του κλιματιστικού κατά την διάρκεια περιόδων αιχμής κυρίως κατά τους θερινούς μήνες.

- **Μετατόπιση φορτίου:** Χρησιμοποιώντας τον συγκεκριμένο τρόπο οι καταναλωτές μπορούν να μετατοπίσουν κάποιες ενέργειές τους που απαιτούν κατανάλωση ενέργειας από περιόδους αιχμής σε χρονικές περιόδους που υπάρχει χαμηλή ζήτηση. Για παράδειγμα, ο καταναλωτής μπορεί να λειτουργεί το πλυντήριό του μόνο κατά τις βραδινές ώρες και όχι όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση. Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι ο καταναλωτής δεν έχει απώλεια ανέσεων.
- **Επιτόπου παραγωγή:** Με αυτόν τον τελευταίο τρόπο οι καταναλωτές μπορούν να ανταποκριθούν με επί τόπου παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών τους. Αν και ο καταναλωτής δεν μειώνει η μειώνει ελάχιστα την κατανάλωσή του, η ζήτηση ενέργειας από το δίκτυο μειώνεται.



Σχήμα 3.8: Διαφορετικοί τρόποι απόκρισης στο φορτίο

Προγράμματα απόκρισης ζήτησης

Τα διαφορετικά προγράμματα απόκρισης της ζήτησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι η Price Based Demand Response και περιλαμβάνει προγράμματα στα οποία τα τιμολόγια έχουν διαφορετική χρέωση κατά την διάρκεια του χρόνου. Η δεύτερη είναι η Incentive Based Demand Response η οποία περιλαμβάνει προγράμματα που δίνουν κίνητρα στους καταναλωτές για μεταβολή της ζήτησης.

Price Based

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει προγράμματα που βασίζονται στην δυναμική τιμολόγηση της ενέργειας. Σκοπός τους είναι οι αλλαγές στην κατανάλωση του πελάτη ανάλογα με τις μεταβολές στην τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος και την μείωση του φορτίου σε περιόδους αιχμής ή την μετακίνησή του σε χρονικές περιόδους που η τιμή είναι χαμηλή. Τα διαφορετικά προγράμματα που υπάρχουν είναι τα εξής:

- **Time of use (TOU):** Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί διαφορετική τιμολόγηση του ρεύματος κατά την διάρκεια της ημέρας. Για κάθε χρονολογική ζώνη υπάρχουν διαφορετικοί συντελεστές χρέωσης και έτσι αντικατοπτρίζεται το κόστος παραγωγής και διανομής του ρεύματος για κάθε ζώνη. Επίσης διαφορετικά τιμολόγια μπορεί να ισχύουν για κάθε εποχή του χρόνου.
- **Real time pricing (RTP):** Σε αυτή την περίπτωση η τιμή της κιλοβατώρας αλλάζει κάθε ώρα και έτσι ανταποκρίνεται στην ωριαία τιμή του κόστους παραγωγής.
- **Critical peak pricing (CPP):** Το πρόγραμμα αυτό συνδυάζει τα δύο παραπάνω και περιλαμβάνει μια βασική time of use τιμολόγηση ενώ σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη αιχμή εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση στην μέγιστη ισχύουσα τιμή. Ο πελάτης ενημερώνεται για αυτή την παραπάνω χρέωση συνήθως μια μέρα πριν. Όσοι πελάτες συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα έχουν σαν μόνους έκπτωση για κατανάλωση ενέργειας σε εκτός αιχμής ώρες.
- **Critical peak rebate (CPR):** Οι καταναλωτές αμείβονται ανάλογα με το πόσο έχουν μειώσει την κατανάλωσή τους στις ώρες αιχμής και ουσιαστικά πρόκειται για το αντίστροφο από το προηγούμενο πρόγραμμα. Ένα τέτοιο πρόγραμμα γίνεται πιο εύκολα αποδεκτό από τον καταναλωτή γιατί δεν περιλαμβάνει την ποινή που υπάρχει στα προγράμματα CPP, όμως ακόμη δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο πλήθος καταναλωτών.

- **Extreme day pricing (EDP):** Σε αυτού του είδους τα προγράμματα η τιμολόγηση εφαρμόζει μια επιπλέον χρέωση στις περιόδους που υπάρχει υψηλή αιχμή όπως και στα CPP, αλλά αυτή η αυξημένη τιμή ισχύει για όλη την ημέρα και χωρίς να έχει ενημερωθεί ο καταναλωτής από την προηγούμενη ημέρα.
- **Extreme day CPP (ED-CPP):** Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόζονται δύο επίπεδα αυξημένης χρέωσης για ώρες εντός αιχμής και εκτός αντίστοιχα κατά την διάρκεια των δύσκολων για το δίκτυο ημερών. Όμως τις υπόλοιπες ημέρες η τιμολόγηση είναι σταθερή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στο Price Based DR η απόκριση των πελατών δεν είναι υποχρεωτική αν αυτοί συμμετέχουν σε κάποιο πρόγραμμα. Έτσι οι πελάτες έχουν την άνεση να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές χρεώσεις ανάλογα πάντα με τις ανάγκες τους.

Incentive Based

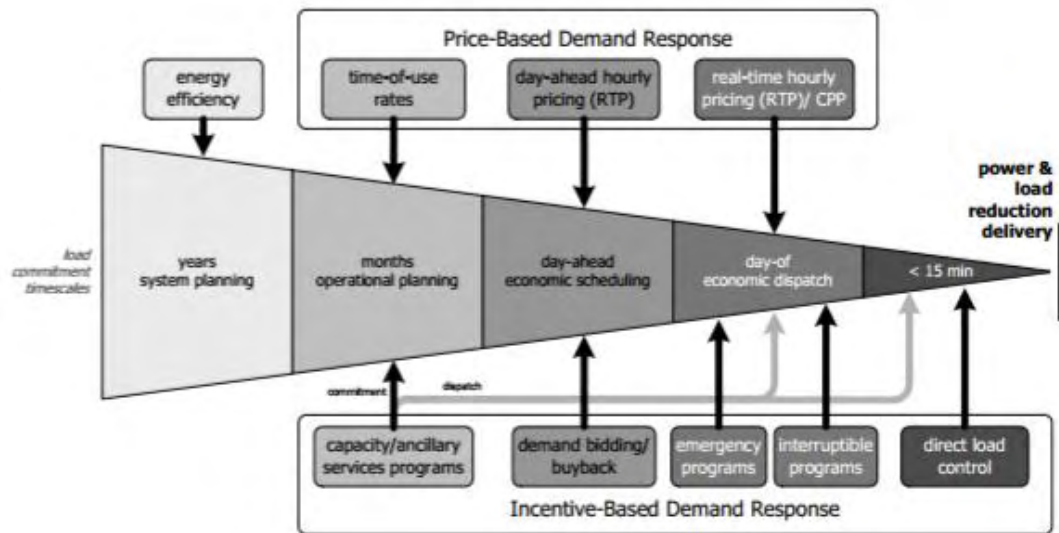
Τα προγράμματα που υπάρχουν στην κατηγορία αυτή προσφέρονται στους καταναλωτές μέσω συμβολαίων και τους δίνουν κίνητρα ώστε να μειώσουν το φορτίο τους στις κρίσιμες περιόδους για το δίκτυο και όταν αυτό τους ζητηθεί. Συνεπώς οι πελάτες πρέπει να ανταποκριθούν στην μείωση όταν αυτό τους ζητηθεί, ενώ σε ορισμένα προγράμματα υπάρχουν και οικονομικές ποινές για τους καταναλωτές που δεν ανταποκρίνονται. Αναλυτικότερα τα προγράμματα που προσφέρονται στην κατηγορία αυτή είναι:

- **Direct load control (DLC):** Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα άμεσου ελέγχου ο διαχειριστής του συστήματος (π.χ. ΔΕΔΔΗΕ) μπορεί να διακόψει τη λειτουργία ορισμένων φορτίων (κλιματιστικά, θερμοσίφωνες) απομακρυσμένα και όταν αυτό χρειαστεί, μετά από σύντομη ειδοποίηση του καταναλωτή. Έτσι οι καταναλωτές μπορούν να επωφεληθούν με μειώσεις στους λογαριασμούς ρεύματος. Αυτά τα προγράμματα απευθύνονται για χρήση κυρίως από οικιακούς ή και μικρούς εμπορικούς καταναλωτές.
- **Interruptible / curtailable programs (I/C):** Τα συγκεκριμένα αποτελούν προγράμματα αποκοπής φορτίου. Και εδώ οι καταναλωτές έχουν μειώσεις στους λογαριασμούς τους αλλά η μείωση του φορτίου τους σε συγκεκριμένες τιμές όταν αυτό τους ζητηθεί αποτελεί υποχρέωσή τους. Έτσι ο διαχειριστής μπορεί να ζητήσει την αποκοπή φορτίου σε κρίσιμες για το σύστημα περιόδους και μπορεί να υπάρχουν και ποινές σε περιπτώσεις μη συμμόρφωσης των καταναλωτών. Αυτά

τα προγράμματα έχουν χρήση κυρίως σε βιομηχανίες ή σε μεγάλους εμπορικούς καταναλωτές.

- **Emergency demand response programs:** Αναφέρονται σε προγράμματα επείγουσας ανάγκης που προσφέρουν κίνητρα μέσω πληρωμών προς τους πελάτες για μειώσεις φορτίων σε κρίσιμες περιόδους για την αξιοπιστία του δικτύου. Και εδώ υπάρχουν ποινές σε περίπτωση μη ανταπόκρισης των πελατών.
- **Demand bidding / Buypack programs:** Προγράμματα προσφορών που ενθαρρύνουν τον καταναλωτή να προσφέρει μείωση του φορτίου του σε μια αγορά χονδρικής στην τιμή στην οποία θέλουν και προγράμματα που δίνουν την δυνατότητα στους καταναλωτές να αποφασίσουν το μέγεθος του φορτίου που θα αποκόψουν σε μια συγκεκριμένη τιμή. Σε περίπτωση που η προσφορά ενός πελάτη γίνει δεκτή και η μείωση φορτίου δεν πραγματοποιηθεί εφαρμόζονται κυρώσεις.
- **Capacity market programs:** Αυτά αποτελούν προγράμματα αγοράς ισχύος που προσφέρονται σε καταναλωτές οι οποίοι μπορούν εκ των προτέρων να εγγυηθούν για μια συγκεκριμένη μείωση φορτίου σε κάποιες κρίσιμες καταστάσεις. Οι καταναλωτές ενημερώνονται μια ημέρα πριν και σε αυτή την κατηγορία οι πελάτες έχουν σοβαρές συνέπειες αν δεν ανταποκριθούν.
- **Ancillary services market programs:** Πρόκειται για προγράμματα αγοράς κάποιων βοηθητικών υπηρεσιών που δίνουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να προσφέρουν στους διαχειριστές του συστήματος περικοπές φορτίου. Αν οι προσφορές γίνουν αποδεκτές πληρώνονται στην τιμή της αγοράς έτσι ώστε να είναι σε ετοιμότητα σε ενδεχόμενο που χρειαστεί η αποκοπή του φορτίου που έχει συμφωνηθεί.

Στο Incentive Based DR σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση οι καταναλωτές που έχουν υπογράψει συμβόλαιο για την συμμετοχή τους σε κάποιο πρόγραμμα έχουν την υποχρέωση να ανταποκριθούν στην μείωση της ζήτησης σε κρίσιμες περιόδους για το σύστημα. Εάν δεν το εφαρμόσουν αυτό έχουν αυστηρές οικονομικές ποινές.



Σχήμα 3.9: Ο ρόλος της απόκρισης ζήτησης στην λειτουργία του ΣΗΕ

4. Ευφυή δίκτυα και Internet of Things

4.1 Περιγραφή

Στην εποχή μας μια από τις σύγχρονες τεχνολογίες που έχουν εμφανιστεί είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, γνωστό και ως Internet of Things (IoT). Είναι μια πολλά υποσχόμενη υπηρεσία που έρχεται να προσφέρει πολλές ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις. Πρόκειται ουσιαστικά για μια κατάσταση στην οποία καθημερινά αντικείμενα που χρησιμοποιούμε όπως αυτοκίνητα, τηλέφωνα και οικιακές συσκευές θα μπορούν να συνδέονται ασύρματα στο διαδίκτυο μέσω κάποιων έξυπνων κυκλωμάτων και θα έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν και να συλλέγουν χρήσιμα δεδομένα.

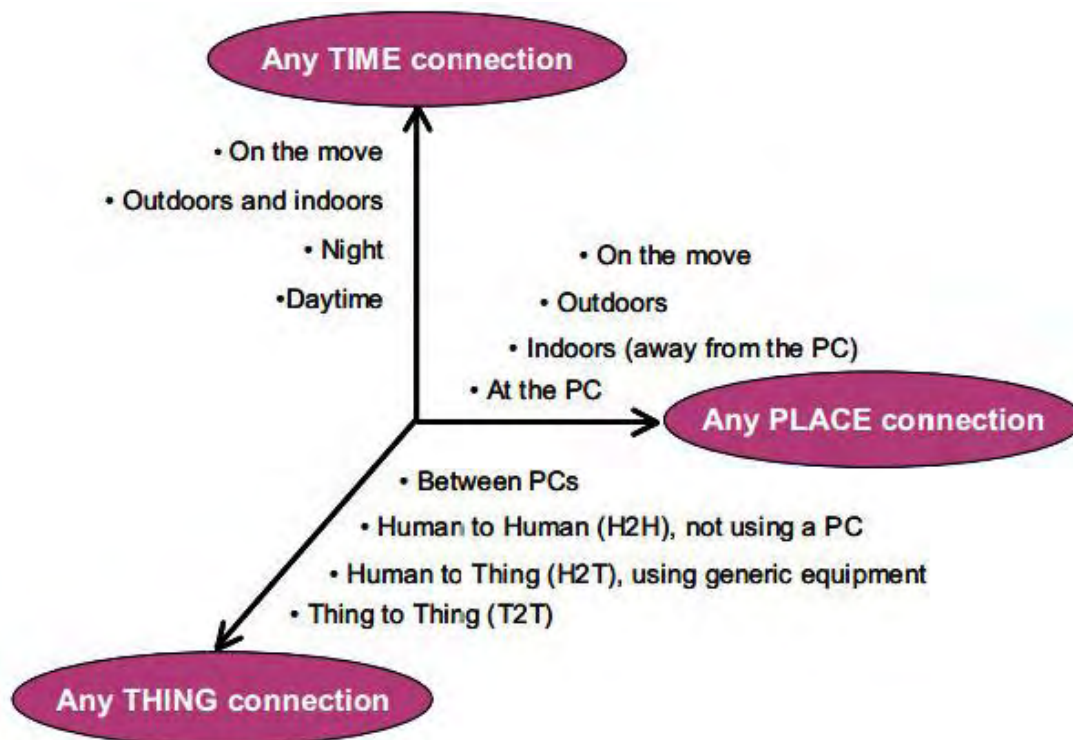
Συνεπώς το διαδίκτυο των πραγμάτων περιγράφει κατά κάποιο τρόπο ένα όραμα όπου όλα τα αντικείμενα μπορούν να γίνουν μέρος του Διαδικτύου. Έτσι κάθε αντικείμενο είναι προσδιορισμένο και προσβάσιμο στο δίκτυο, η κατάσταση και η θέση του είναι γνωστή, όπου ευφυΐα και υπηρεσίες έχουν προστεθεί στο εξελιγμένο αυτό Διαδίκτυο, συνδυάζοντας έτσι τον φυσικό και ψηφιακό κόσμο και προσωπικό και κοινωνικό μας περιβάλλον.

Η επικοινωνία αυτή μεταξύ των συσκευών αποτελείται από τεχνολογίες που επιτρέπουν σε μηχανές, συνήθως μικρούς υπολογιστικούς αισθητήρες που εκτελούν ειδικές λειτουργίες (ευφυΐα), να επικοινωνούν μεταξύ τους ή να ανταλλάσσουν πληροφορίες που απαιτούνται, συνήθως μέσω κάποιων γνωστών πρωτοκόλλων αλλά πλέον πάνω και από το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) μέσω ασύρματης ή ενσύρματης επικοινωνίας ή ακόμα και μέσω υπηρεσίας σύντομου μηνύματος (SMS).

Συγκεκριμένα το διαδίκτυο των πραγμάτων αφορά την αλληλεπίδραση με όλα τα αντικείμενα γύρω μας, ακόμη και με μη έξυπνα αντικείμενα, και την αύξηση αυτών των αλληλεπιδράσεων στα πλαίσια που παρέχονται από την γεωγραφική θέση και τον χρόνο. Έτσι ακόμα και μη συνδεδεμένες συσκευές μπορούν να συνδεθούν στο Internet of Things χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ένα έξυπνο τηλέφωνο που αποτελεί πύλη εισόδου στο Διαδίκτυο. Επίσης το IoT έχει να κάνει με την αλληλεπίδραση μέσω γραμμικού κώδικα (barcode) με ένα βιβλίο που διαβάζουμε, μέσω NFC (Near Field Communication) με μια αφίσα που βλέπουμε ή με μια διαφήμιση μέσω μικρού κώδικα.

Ο ορισμός των «πραγμάτων» στο Internet of Things είναι διευρυμένος και περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία από φυσικά στοιχεία. Έτσι αυτά περιλαμβάνουν προσωπικά στοιχεία που κουβαλάμε συνεχώς μαζί μας όπως κινητά τηλέφωνα, φωτογραφικές μηχανές κ.τ.λ. Επίσης περιλαμβάνει στοιχεία που υπάρχουν στο περιβάλλον μας (σπίτι, αυτοκίνητο, εργασία μας) καθώς και αντικείμενα που είναι εφοδιασμένα με ετικέτες (RFID κ.τ.λ.) και συνδέονται μέσω συσκευής – πύλης όπως ένα έξυπνο τηλέφωνο. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι ένας τεράστιος αριθμός από συσκευές και αντικείμενα θα συνδέεται στο Διαδίκτυο τα οποία θα παρέχουν ανά πάση στιγμή δεδομένα και πληροφορίες ή ακόμα και υπηρεσίες σε κάποιες περιπτώσεις.

Το όραμα αυτό του IoT μπορούμε να πούμε όπως φαίνεται και στο σχήμα (Σχήμα 4.1) ότι θα ενισχύσει την συνδεσιμότητα από το «κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση για κάθε-έναν» στο «κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση για κάθε-τι».



Σχήμα 4.1: Το όραμα του Internet of Things

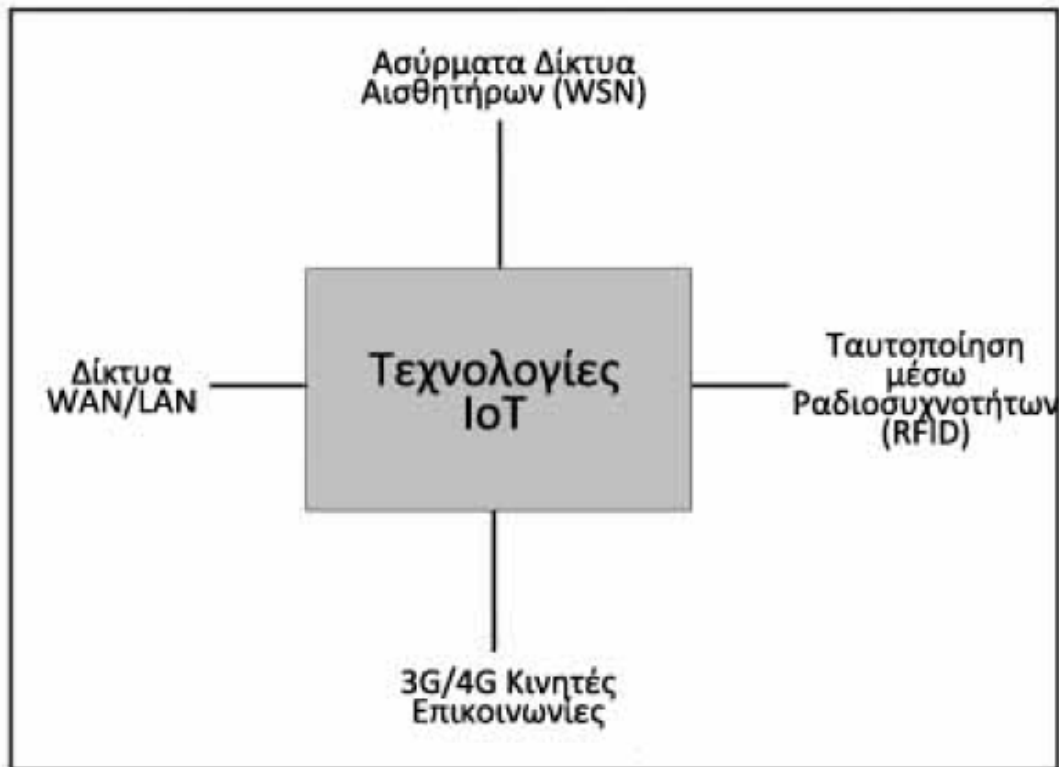
Μπορούμε να πούμε ότι το Διαδίκτυο των πραγμάτων διαφέρει από τα δίκτυα αισθητήρων και το Διαδίκτυο και αποτελείται από υλικά αντικείμενα που συνδέονται στο διαδίκτυο. Αυτό σημαίνει πρώτον ότι ο πυρήνας του IoT είναι το διαδίκτυο, βασίζεται σε αυτό και αποτελεί μια επέκτασή του. Δεύτερον σημαίνει ότι γίνεται μια διεύρυνση των πελατών του σε διάφορα πράγματα έτσι ώστε να υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών και επικοινωνία. Συνεπώς, αν και δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός μπορούμε να ορίσουμε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί συσκευές ραδιοσυχνότητας αναγνώρισης (RFID), υπέρυθρους αισθητήρες, συστήματα εντοπισμού θέσης, λέιζερ σαρωτές και άλλες παρόμοιες συσκευές, σύμφωνα με το συμφωνημένο πρωτόκολλο για κάθε στοιχείο συνδεδεμένο στο διαδίκτυο, για επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών με σκοπό να γίνει χρήση έξυπνων λειτουργιών αναγνώρισης, εντοπισμού θέσης, παρακολούθησης και διαχείρισης.

Συνοψίζοντας το Internet of Things έχει σαν κύρια χαρακτηριστικά αυτά που αναφέρονται παρακάτω:

- Ολοκληρωμένη αίσθηση χρησιμοποιώντας RFID τεχνολογία, αισθητήρες και δύο διαστάσεων κώδικα για τη συλλογή πληροφοριών από αντικείμενα οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή.
- Αξιόπιστη μετάδοση. Ακριβής και σε πραγματικό χρόνο παροχή πληροφοριών από τα αντικείμενα, εμπλέκοντας διάφορα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και το Διαδίκτυο.
- Έξυπνη επεξεργασία χρησιμοποιώντας έξυπνους τρόπους όπως το cloud computing και η ασαφής αναγνώριση (fuzzy identification) για να αναλύσει και να επεξεργαστεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων και πληροφοριών, με σκοπό την εφαρμογή ευφυούς ελέγχου στα αντικείμενα.

4.2 Κύριες τεχνολογίες στο IoT

Μπορούμε να πούμε ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μια τεχνολογική εξέλιξη για το μέλλον της πληροφορικής και των επικοινωνιών και έτσι η ανάπτυξή του πρέπει να υποστηριχθεί από κάποιες καινοτόμες τεχνολογίες. Χρειάζεται να υπάρξει τελειοποίηση της τεχνολογίας ανίχνευσης σήματος, των επικοινωνιών μικρής εμβέλειας, της μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις και της έξυπνης ανάλυσης και διαχείρισης. Οι κυριότερες τεχνολογίες που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στις IoT εφαρμογές είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN), η χρήση ραδιοσυχνοτήτων για ταυτοποίηση (RFID), οι κινητές επικοινωνίες, η νανοτεχνολογία όπως και οι έξυπνες τεχνολογίες (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Οι κυριότερες τεχνολογίες στο IoT

4.3 Οι εφαρμογές του IoT

Η τεχνολογία του Internet of Things είναι ακόμη σε αρχικά στάδια, έχει όμως σημειώσει επιτυχία σε κάποιους τομείς. Η εφαρμογή του μέχρι στιγμής επικεντρώνεται στην υλικοτεχνική υποδομή, σε στρατιωτικές εφαρμογές, στην παρακολούθηση και την διαχείριση.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του IoT θα πρέπει με τη εφαρμογή του να παρέχονται οι ακόλουθες κατηγορίες υπηρεσιών:

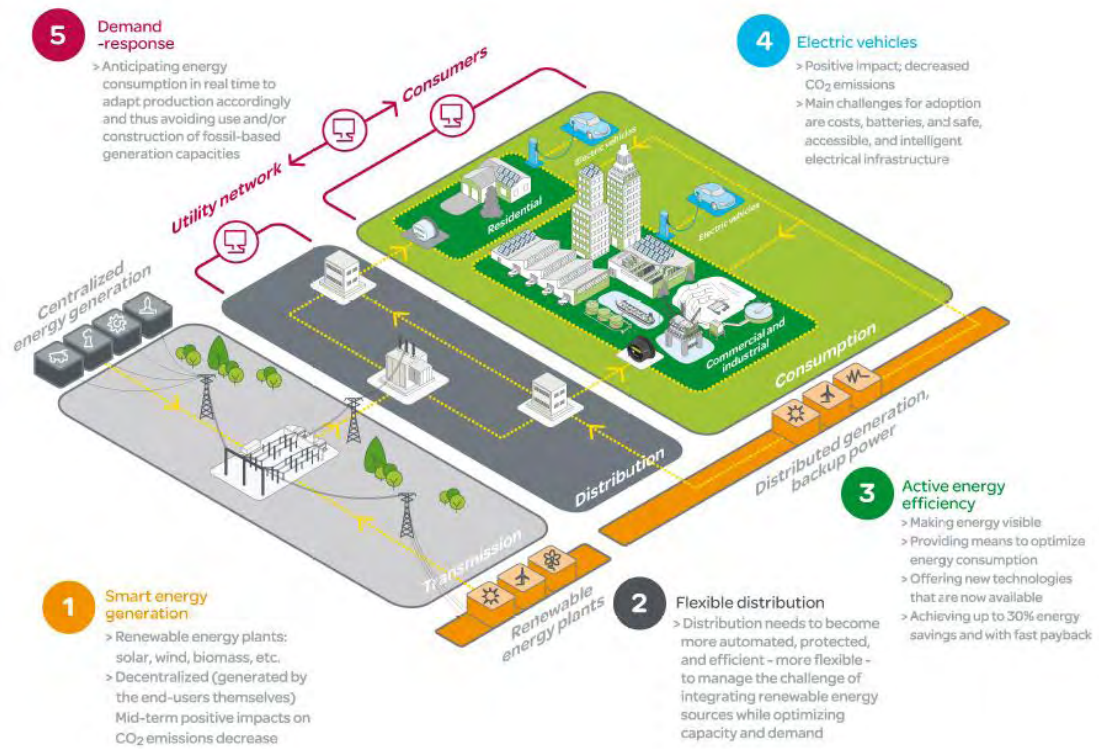
- Υπηρεσία Δικτύωσης: αναγνώριση/ταυτοποίηση, επικοινωνία και τοποθέτηση αγαθών
- Πληροφοριακή Υπηρεσία: συλλογή, αποθήκευση και αναζήτηση πληροφοριών
- Υπηρεσία Λειτουργίας: απομακρυσμένη ρύθμιση παραμέτρων, παρακολούθηση, λειτουργία και έλεγχος

4.4 Εφαρμογές του IoT στο Έξυπνο δίκτυο

Όπως είναι γνωστό τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από τρία σημαντικά υποσυστήματα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή αυτής της ενέργειας και την χρησιμοποίησή της. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη υπηρεσία που μπορεί να υποστηρίξει κατάλληλα και να ενισχύσει όλα αυτά τα υποσυστήματα. Συνεπώς αποτελεί αναγκαίο και βασικό συστατικό για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας του μέλλοντος, δηλαδή τα έξυπνα δίκτυα.

Το Internet of Things στα έξυπνα δίκτυα μπορεί να βρει εφαρμογή στους ακόλουθους τομείς:

- Στον παραγωγικό τομέα ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση μιας μονάδας παραγωγής, των διεσπαρμένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, της γύρω περιοχής των σταθμών παραγωγής, των εκπομπών αερίων και ρύπων, της κατανάλωσης, της αιολικής μονάδας παραγωγής, των φωτοβολταϊκών σταθμών, των σταθμών παραγωγής από βιομάζα, της αποθήκευσης ενέργειας κτλ.
- Κύρια επίσης χρήση του IoT είναι για την παρακολούθηση των γραμμών μεταφοράς, τον έλεγχο των πύργων, για έξυπνους υποσταθμούς, για την αυτοματοποιημένη διανομή, για την παρακολούθηση της κατάστασης διανομής, για την διαχείριση της λειτουργίας και του εξοπλισμού.
- Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους έξυπνους μετρητές και την μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας, για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, για την διαχείριση ζήτησης (DSM) και την παρακολούθηση και διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 4.4: Το Internet of Things εφαρμοσμένο σε ένα Έξυπνο Δίκτυο

5. Ασφάλεια στα Ευφυή Δίκτυα

5.1 Η ανάγκη ύπαρξης ασφάλειας

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετήσαμε και αναλύσαμε τα ευφυή δίκτυα ενέργειας δείχνοντας έτσι την διαφορά που έχουν με ένα συμβατικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, όπως και ποια πλεονεκτήματα αναμένουμε να έχουμε από αυτά. Κατά την διάρκεια της ανάλυσης των Smart Grid όμως μιλήσαμε μόνο για όρους όπως αποδοτικότητα, βελτιστοποίηση της παραγωγής, αξιοπιστία και οικονομικότερο ηλεκτρισμό χωρίς να αναφερθούμε καθόλου σε ένα πολύ βασικό θέμα, αυτό της ασφάλειας.

Είναι απολύτως αναμενόμενο ότι σε ένα τόσο σημαντικό και σύνθετο δίκτυο όσο είναι το δίκτυο ηλεκτροδότησης μιας χώρας, η ασφάλεια εντός του δικτύου είναι ένα νευραλγικό ζήτημα που δεν μπορούμε να αγνοήσουμε. Στο μέλλον όλα τα έξυπνα δίκτυα θα αποτελούνται σε ένα μεγάλο ποσοστό από τεχνολογίες της πληροφορικής και δίκτυα των υπολογιστών, τα οποία είναι ανοιχτά προς το Διαδίκτυο. Έτσι τα σενάρια για απώλεια ασφάλειας είναι ποικίλα και δυστυχώς σε πολλές περιπτώσεις έχουν άσχημες προεκτάσεις.

Σε ένα έξυπνο δίκτυο μεταδίδονται τεράστιοι όγκοι δεδομένων που αφορούν τα μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας των πελατών, ώστε να υπάρχει καλύτερη πρόβλεψη της ζήτησης και αντίστοιχα αντίστοιχη παραγωγή χωρίς απώλειες. Ακόμη με τον τρόπο αυτόν ωφελείται ο πελάτης και του παρέχεται βοήθεια για το πότε συμφέρει τον ίδιο να καταναλώσει ενέργεια και να προγραμματίσει τις πιο ενεργειακά δαπανηρές δουλειές του. Συνεπώς σε ένα τέτοιο δίκτυο δεν είναι δυνατόν να αμελήσουμε την ασφάλειά του, μόνο και μόνο αν σκεφτούμε πόση πληροφορία μπορεί να εξαχθεί για τους υπαλλήλους μια μεγάλης εταιρίας ή τους ενοίκους μιας πολυκατοικίας αν καθημερινά μελετάμε και κρατάμε δεδομένα για τα προφίλ κατανάλωσής τους.

Τέτοιες πληροφορίες είναι ποιες συσκευές χρησιμοποιούνται, πόσοι ένοικοι ζούνε στο σπίτι, σε ποιο δωμάτιο βρίσκονται ανά πάσα στιγμή ή ακόμα και ποιες είναι οι καθημερινές συνήθειές τους. Αυτές είναι μερικές μόνο από τις πληροφορίες που μπορούμε να αντλήσουμε συνδυάζοντας τα δεδομένα ενός έξυπνου μετρητή. Ακόμη χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται από τους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τα οποία αναμένεται να αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό με την εδραίωση των έξυπνων δικτύων, μπορούμε κάθε στιγμή να γνωρίζουμε πού βρίσκεται ο οδηγός, προς τα πού

πηγαίνει, αν ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδρομή κάθε μέρα και ένα πλήθος άλλων προσωπικών και ευαίσθητων πληροφοριών.

Επιπλέον, δεν είναι δύσκολο και σπάνιο το ενδεχόμενο να εισέλθει στο σύστημα ένας κακόβουλος χρήστης ο οποίος εκμεταλλευόμενος την απουσία κρυπτογράφησης των δεδομένων στο δίκτυο ή της απουσίας ελέγχου πριν γίνει αποστολή πληροφορίας, καταφέρει να προσποιηθεί πως είναι το κέντρο ελέγχου του συστήματος που στέλνει πληροφορία προς τον έξυπνο μετρητή μας. Με αυτόν τον τρόπο έχει την δυνατότητα να διαβάσει δεδομένα που στέλνονται από την κατοικίας μας προς το κέντρο ελέγχου ή να στείλει ψεύτικα μηνύματα προς τον μετρητή του σπιτιού μας ότι οι επόμενες ώρες θα είναι ώρες μειωμένης κατανάλωσης και θα χρεώνονται λιγότερο, κάτι που δεν θα ισχύει.

Ένας άλλος σημαντικός κίνδυνος που μπορεί να προκύψει από την έλλειψη ασφάλειας έχει να κάνει με τις ενημερώσεις του λογισμικού (updates) στα κέντρα ελέγχου και στα διάφορα τμήματα του δικτύου. Η δυνατότητα ενημέρωσης του λογισμικού γίνεται για καλό σκοπό και μας επιτρέπει να εμπλουτίσουμε το λογισμικό ακόμα και μετά την κυκλοφορία του, ώστε να είναι το σύστημα πιο προετοιμασμένο για να αντιμετωπίσει τυχόν νέες απειλές. Από την άλλη μεριά όμως, αυτό αποτελεί μια σημαντική αδυναμία του δικτύου. Αυτό ισχύει διότι ο κακόβουλος χρήστης μπορεί να ανεβάσει στο δίκτυο μια υποτιθέμενη ενημέρωση ενός λογισμικού, η οποία δεν θα είναι τίποτα λιγότερο από ένα μολυσμένο λογισμικό με σκοπό να βλάψει όλο το δίκτυο και να το θέσει σε κίνδυνο.

Ένα τέτοιο παράδειγμα κακόβουλου λογισμικού είναι ο υιός Stuxnet ο οποίος το 2010 χρησιμοποιήθηκε για να μολύνει τα συστήματα SCADA που είχαν κατασκευαστεί από την SIEMENS στο Ιράν. Ο συγκεκριμένος υιός αφού είχε εγκατασταθεί εντόπιζε τους PLC Controllers (Programmable Logic Controllers) που είχε βάλει η SIEMENS στο σύστημα και εγκαθίστατο σε αυτούς. Αν ο υιός κατάφερνε να αναλάβει δράση τα αποτελέσματα θα ήταν καταστροφικά γιατί ο υιός δεν είχε ως στόχο να κλέψει μόνο πληροφορίες και δεδομένα αλλά να παρέμβει και να αλλάξει όλες τις ρυθμίσεις του δικτύου. Για παράδειγμα θα μπορούσε να αλλάξει κάποια στοιχεία που ορίζουν την διαδικασία της φυγοκέντρωσης στους πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, κάτι που θα έβαζε τον σταθμό σε κατάσταση εκτός λειτουργίας. Επίσης, θα μπορούσε να επέμβει στα ρολόγια που ρυθμίζουν και ελέγχουν την ροή αερίου μέσα στους σωλήνες, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει ακόμα και σε εκρήξεις.

Είναι απολύτως κατανοητό ότι οποιαδήποτε αδυναμία παρουσιάσει το δίκτυο ηλεκτροδότησης να ανταποκριθεί στις ανάγκες των πελατών, αυτή μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές ρεύματος με σοβαρές συνέπειες. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε μέσω κάποιας κακόβουλης ενέργειας, όπως ενός υιού στο σύστημα, είτε χωρίς σχεδιασμό από πριν. Έτσι μπορεί να προκληθούν τεράστιες ζημιές στην κοινωνία, όπως σε υπηρεσίες υγείας όπου η έλλειψη παροχής ρεύματος μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια ζωών, αλλά και στην οικονομία μιας χώρας. Το κόστος των διακοπών ηλεκτροδότησης μπορεί να ανέρχεται σε τεράστια οικονομικά ποσά, ακόμα και αν οι διακοπές αυτές μπορεί να διαρκέσουν ελάχιστα μόλις λεπτά.

Μεγάλη κινητήρια δύναμη στην εποχή μας μια χώρας είναι ο ηλεκτρισμός, κάτι που σημαίνει ότι τον καθιστά βασικό στόχο για κακόβουλες επιθέσεις και τρομοκρατικά χτυπήματα. Τέτοια περιστατικά συνέβησαν το 2008 στις ΗΠΑ όταν βρέθηκαν ίχνη Κινέζων και Ρώσων κατασκόπων που κατάφεραν να εισέλθουν στο δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας. Αν είχαν καταφέρει τον σκοπό τους θα μπορούσαν να προκαλέσουν μεγάλη ζημιά στην χώρα, αφού μέσω του δικτύου ηλεκτροδότησης σχετίζονται άμεσα η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, το δίκτυο απομάκρυνσης λυμάτων και το δίκτυο υδροδότησης.

Ένας τελευταίος αλλά σοβαρός κίνδυνος έχει να κάνει με τις επιθέσεις του γνωστού είδους Denial Of Service (DOS). Τέτοιες επιθέσεις κάνουν ζημιά στο δίκτυο υπερφορτώνοντας αυτό και τα επιμέρους τμήματά του, έτσι ώστε να μην μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των πραγματικών όμως χρηστών του. Παράδειγμα τέτοιας επίθεσης στο έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να είναι η συνεχόμενη επίθεση πάνω στους αισθητήρες που καταγράφουν ανά πάσα στιγμή την κατάσταση του δικτύου, με σκοπό την εξάντληση της μπαταρίας πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους. Μετά από μια τέτοια επίθεση μπορεί να υπάρξει λανθασμένη αντίληψη της κατάστασης του δικτύου με αποτέλεσμα να υπάρχουν σοβαρές συνέπειες.

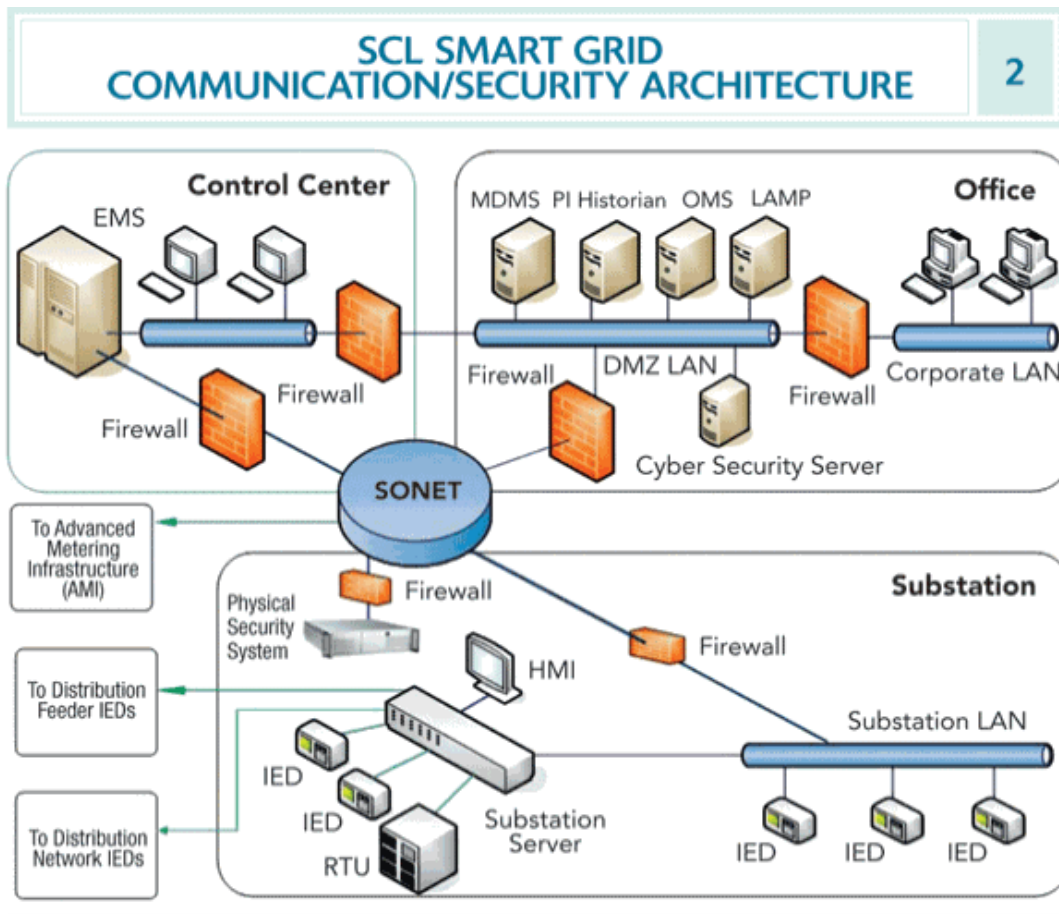
Στα παλαιότερα χρόνια τα δίκτυα ηλεκτροδότησης κατασκευάζονταν με κυριότερο στόχο την απόδοση τους και τελευταίο την ασφάλεια. Πλέον όμως οι συνθήκες έχουν αλλάξει και η τεχνολογία έχει εξελιχθεί υπερβολικά. Οι κίνδυνοι που υπάρχουν είναι ορατοί και πολλοί, με συνέπειες που μπορεί να έχουν άσχημα αποτελέσματα. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι η ασφάλεια στα Smart Grids είναι ένα σημαντικότερο ζήτημα και αποτελεί βασικό στόχο πλέον των σχεδιαστών του συγκεκριμένου είδους δικτύων.

5.2 Στόχοι ασφάλειας σε Smart Grids

Στο περιβάλλον ενός Smart Grid πρέπει να πληρούνται ορισμένοι στόχοι ασφάλειας όπως αυτοί παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία ([21],[22]) προκειμένου να θεωρείται ότι εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του και η αξιοπιστία του. Οι στόχοι αυτοί εμπεριέχουν την εξασφάλιση:

- **Εμπιστευτικότητας (Confidentiality):** Με τον όρο εμπιστευτικότητα εννοούμε την διαβεβαίωση ότι μόνο χρήστες που έχουν εξουσιοδότηση μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα και να κάνουν ανταλλαγή αυτών.
- **Διαθεσιμότητας (Availability):** Ως διαθεσιμότητα ορίζουμε τη διαβεβαίωση ότι οι οποιοδήποτε πόροι του δικτύου (δεδομένα / bandwidth / συστήματα συνδεδεμένα με αυτό), είναι πάντοτε διαθέσιμοι για κάθε εξουσιοδοτημένη οντότητα, όποτε η οντότητα αυτή τους χρειαστεί, και προστατευμένοι έναντι οποιοδήποτε περιστατικού μπορεί να επηρεάσει την άμεση διαθεσιμότητα τους.
- **Ακεραιότητας (Integrity):** Σαν ακεραιότητα ορίζεται η διαβεβαίωση ότι τα δεδομένα που διακινούνται στο δίκτυο είναι ορθά, συνεπή και έγκυρα χρονικά. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει γίνει καμία αλλοίωση σε αυτά, όπως προσθήκη ή διαγραφή περιεχομένου και δεν έχουν υποστεί απώλεια ή καταστροφή κατά την διάδοση, την αποθήκευση ή την ανάκτησή τους.
- **Αυθεντικότητας (Authenticity):** Όπου ως αυθεντικότητα ορίζουμε την πιστοποίηση ότι μια οντότητα είναι πράγματι αυτή που ισχυρίζεται πως είναι και πως ένα μήνυμα το οποίο αποστέλλεται από αυτήν πράγματι έχει αποσταλεί από αυτήν.
- **Εξουσιοδότησης (Authorization):** Ως εξουσιοδότηση ορίζουμε την διαβεβαίωση που δίνουμε ότι τα δικαιώματα της κάθε οντότητας που έχει πρόσβαση στο Smart Grid περιβάλλον είναι αυστηρά καθορισμένα και ότι καμία οντότητα δεν θα μπορέσει να αποκτήσει πρόσβαση σε δεδομένα που είναι εκτός των δικαιωμάτων της.
- **Μη αποποίησης ευθύνης (Non repudiation):** Με τον όρο αυτό ορίζεται η διαβεβαίωση της προστασίας απέναντι σε οποιαδήποτε προσπάθεια άρνησης της αποστολής ή της παραλαβής ενός μηνύματος, ή της πρόσβασης ή μη σε μια υπηρεσία από οποιονδήποτε συμμετέχει στην επικοινωνία. Η δυνατότητα αυτή μας εγγυάται ότι για όποιον

ισχυρισμό ενός χρήστη θα μπορούμε να αποδείξουμε αν αυτός ισχύει ή όχι.



Σχήμα 5.1: Αρχιτεκτονική ασφάλειας σε Smart Grid σύστημα

5.3 Θέματα ασφάλειας σε Smart Grids

Ο πελάτης έχει το δικαίωμα να ζητήσει από την εταιρία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας τα δεδομένα που αφορούν την καθημερινή κατανάλωσή του. Αυτό δίνει πολύτιμο feedback στον πελάτη και συμβουλές προκειμένου να γίνει ευαίσθητος σε θέματα ενέργειας. Όμως μια ενδεχόμενη απειλή είναι ένας κακόβουλος χρήστης να προσωποποιηθεί τον πελάτη προκειμένου να λάβει τα στοιχεία αυτά. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την συλλογή πληροφοριών που θα μαρτυρούν την οικονομική κατάσταση του πελάτη, τον αριθμό διαμερίσματος, το μέγεθος του σπιτιού κ.τ.λ. και έτσι ο κακόβουλος χρήστης θα έχει ότι χρειάζεται για να ετοιμάσει ένα χτύπημα στο μέλλον.

Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις ο πελάτης επιλέγει να συνεργαστεί με εταιρεία της επιλογής του. Τα δεδομένα κατανάλωσής του αποθηκεύονται στο κεντρικό σύστημα της εταιρείας και ένας άλλος πάροχος που αναλαμβάνει τη λιανική πώληση της ενέργειας για χάρη του πελάτη παίρνει δεδομένα από τον κεντρικό. Ο πελάτης πρέπει να εγκρίνει την όλη αυτή διαδικασία. Σε αυτό το σενάριο μια επίθεση αν συνδυαστεί για παράδειγμα με μια επίθεση αλλοίωσης μηνυμάτων, μπορεί να οδηγήσει έναν κακόβουλο χρήστη να εξουσιοδοτηθεί και να λαμβάνει τα προσωπικά δεδομένα του πελάτη με ότι αυτό συνεπάγεται.

Για να λειτουργήσει σωστά ένα έξυπνο δίκτυο πρέπει να λειτουργούν με ασφάλεια υποσυστήματα του όπως τα SCADA, DRMS, LMS, MDMS κτλ.. Διάφοροι servers λειτουργούν πίσω από αυτά τα συστήματα προκειμένου να γίνονται οι απαιτούμενες εργασίες στο Smart Grid. Για παράδειγμα, το DRMS σύστημα διαχειρίζεται θέματα που αφορούν το Demand Response, το LMS διαχειρίζεται θέματα διαχείρισης φορτίου, το MDMS συλλέγει δεδομένα από τους μετρητές για να γίνουν οι απαιτούμενες χρεώσεις και το SCADA σύστημα χρειάζεται για τον έλεγχο της κατάστασης του συστήματος σε κάθε σημείο του. Ένα σενάριο είναι κάποιος κακόβουλος χρήστης να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε τεχνική για να βλάψει έναν ή παραπάνω servers του συστήματος. Με τέτοιες επιθέσεις είναι δυνατόν ολόκληρες περιοχές να βυθιστούν στο σκοτάδι και έτσι να υπάρχουν καταστροφικές για την κοινωνία και την οικονομία μιας χώρας συνέπειες.

Παράλληλα κάποιος μπορεί να πάρει πρόσβαση στο σύστημα εκμεταλλευόμενος αδυναμίες του συστήματος. Τέτοιες αδυναμίες αφορούν λανθασμένες πολιτικές που δίνουν σε χρήστες περισσότερα δικαιώματα από αυτά που απαιτούνται για τον ρόλο τους, λανθασμένους τρόπους αυθεντικοποίησης του χρήστη, μη ορθό καθορισμό συνθηματικών πρόσβασης και μη κρυπτογραφημένα μηνύματα που μπορεί να πέσουν στα χέρια κακόβουλων χρηστών και να περιέχουν ακόμα και κωδικούς πρόσβασης χρηστών.

Έτσι κάποιος που επιτίθεται στο σύστημα μπορεί αφού έχει συλλέξει πληροφορίες για αυτό να αξιοποιήσει κάποια bugs που υπάρχουν στο λογισμικό που τρέχει στους διάφορους servers και να ετοιμάσει μια επίθεση της λογικής Denial Of Service. Έτσι οι servers τίθενται εκτός λειτουργίας και δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν τους πραγματικούς χρήστες του συστήματος, λόγω της υπερφόρτωσης που προκαλείται από την επίθεση η οποία γεμίζει το σύστημα ψεύτικες αιτήσεις.

Σε μια πιο ακραία περίπτωση επίθεση στην εταιρεία θα μπορούσε να κάνει και κάποιος δυσαρεστημένος υπάλληλός της, ο οποίος θα έχει και τις απαραίτητες γνώσεις για να δημιουργήσει ζημιά στα συστήματα της εταιρίας και να επιτύχει ακόμα και την κατάρρευσή τους.

Όσο επικίνδυνες είναι οι επιθέσεις με στόχο την κατάρρευση του συστήματος τόσο επικίνδυνες είναι και οι αντίστοιχες επιθέσεις που στοχεύουν στον ολοκληρωτικό έλεγχο του συστήματος. Έτσι ο κακόβουλος χρήστης αποκτάει τον έλεγχο ολόκληρου ή ενός μέρους του συστήματος και χειρίζεται το σύστημα ανάλογα με τους στόχους που έχει. Αυτές οι επιθέσεις μπορούν να προκαλέσουν τεράστιο πλήγμα στην κοινωνική και οικονομική ισορροπία της χώρας.

Ένας άλλος τομέας επιθέσεων είναι αυτές που έχουν στόχο την κλοπή εταιρικών δεδομένων. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν για παράδειγμα όλες τις μετρήσεις που γίνονται από τους αισθητήρες, όπως και όλη τη πληροφορία που λαμβάνουν οι έξυπνοι μετρητές. Έτσι μια τέτοια επίθεση έχει σκοπό να υποκλέψει όσο περισσότερη πληροφορία γίνεται από τα συστήματα μιας εταιρείας παροχής ηλεκτρισμού και αυτή θα μπορούσε να υποκινηθεί από άλλες εταιρείες παροχής με σκοπό να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ή να βλάψουν την εταιρεία στην οποία επιτίθενται.

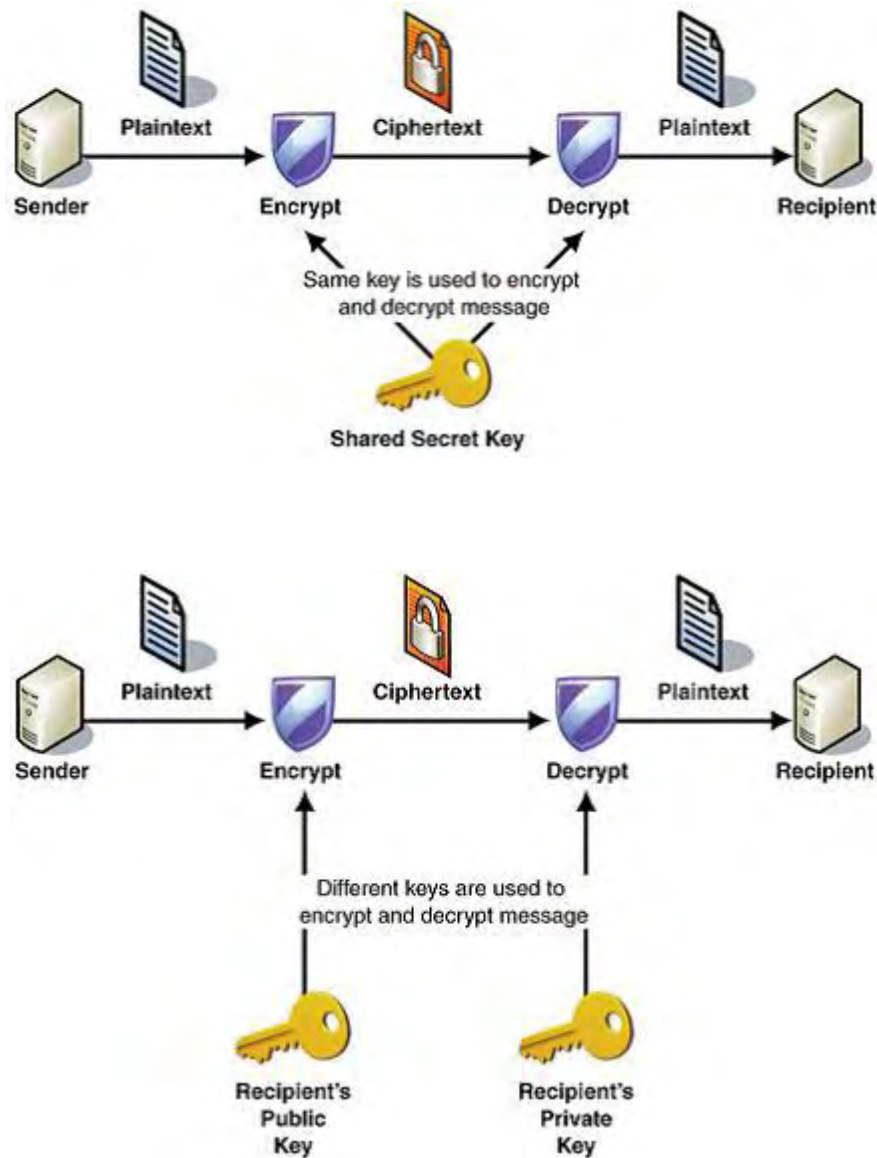
Τέλος πρέπει να αναφέρουμε τις επιθέσεις που έχουν στόχο την εισαγωγή στο Smart Grid λανθασμένων πληροφοριών ώστε το σύστημα να έχει λανθασμένη εικόνα για την κατάσταση του δικτύου του. Αυτό θα έχει σοβαρές συνέπειες στο δίκτυο, τους πελάτες αλλά και τις αγορές ενέργειας. Ένα παράδειγμα για το πώς μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό είναι με επιθέσεις Denial Of Service στους αισθητήρες του δικτύου, ώστε αυτοί να κλείσουν λόγω έλλειψης μπαταρίας και έτσι να τροποποιηθούν οι μετρήσεις του συστήματος. Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί μεγάλο πρόβλημα στην πρόβλεψη ζήτησης της επόμενης μέρας, γιατί αυτή χρησιμοποιεί την ζήτηση της προηγούμενης μέρας και την κατάσταση του δικτύου, με αποτέλεσμα τα λανθασμένα δεδομένα στο σύστημα να οδηγήσουν σε μια λανθασμένη πρόβλεψη. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχουμε διακοπές ρεύματος αλλά και πρόβλημα στην ευστάθεια του δικτύου.

5.4 Ασφαλίζοντας το Smart Grid

Ένας αρχικός στόχος για να ασφαλίσουμε το έξυπνο δίκτυο είναι να εξασφαλίσουμε εμπιστευτικότητα, δηλαδή την σιγουριά ότι μόνο άτομα που έχουν την εξουσιοδότηση μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα και πληροφορίες. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος για να το επιτύχουμε αυτό είναι η μέθοδος της κρυπτογράφησης.

Με την μέθοδο της κρυπτογράφησης πετυχαίνουμε να εξασφαλίσουμε εμπιστευτικότητα και αυθεντικοποίηση. Χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος για να μετατραπεί το αρχικό μήνυμα σε ένα άλλο ακατανόητης μορφής, με τρόπο τέτοιο ώστε το μήνυμα να μπορεί να επανέλθει στην αρχική του μορφή μόνο

αν είμαστε σίγουροι ότι έχει φτάσει στον νόμιμο παραλήπτη του. Ο παραλήπτης αυτός είναι και ο μόνος που μπορεί να κάνει αποκρυπτογράφηση του μηνύματος. Ανάλογα με το είδος του κλειδιού που χρησιμοποιούν οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους συμμετρικούς και ασύμμετρους (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Απεικόνιση του συμμετρικού και ασύμμετρου αλγορίθμου κρυπτογράφησης

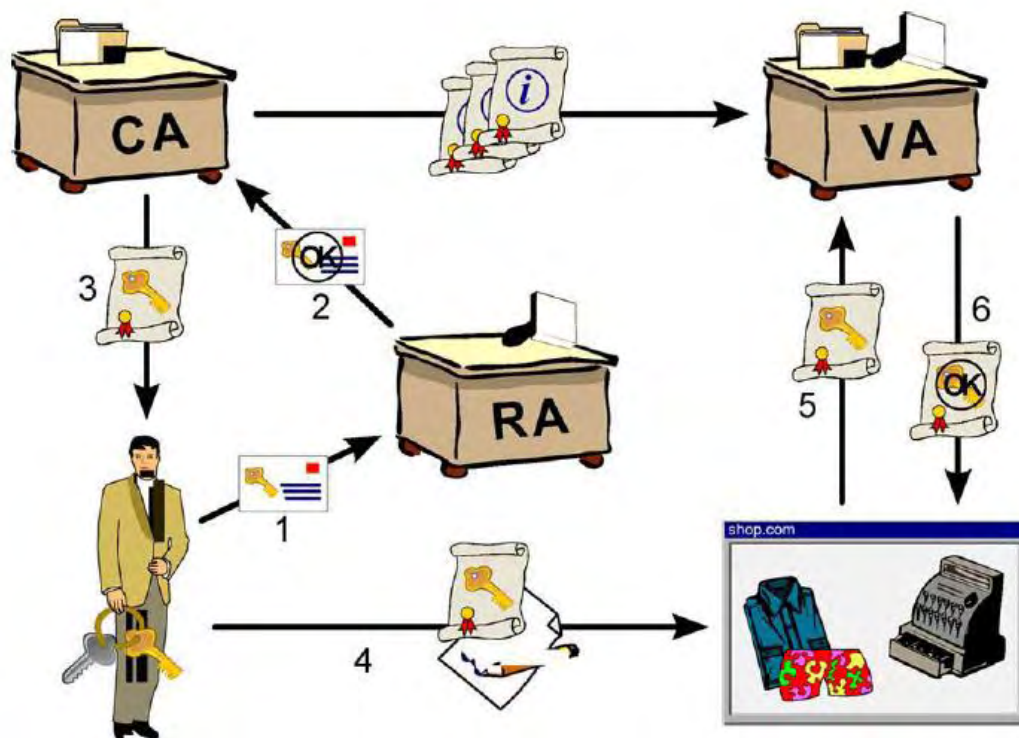
Για να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος είτε της συμμετρικής είτε της ασύμμετρης κρυπτογράφησης πρέπει να υπάρχει μια διαδικασία με την οποία τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης θα έχουν συμφωνημένο κλειδί ή κλειδιά στην αμφίδρομή τους επικοινωνία. Με μια κακή διαχείριση των κλειδιών μπορεί να έχουμε απώλεια στους στόχους ασφαλείας του Smart Grid, γιατί μπορεί να υπάρξουν τυχόν διαρροές στοιχείων και πληροφοριών. Για αυτό το λόγο η ασφαλής διαχείριση κλειδιών είναι αναγκαία και κρίσιμη για το Smart Grid.

Σε όλα τα πρωτόκολλα ασφάλειας που χρησιμοποιούνται, υπάρχει η συσχέτιση ασφάλειας (Security Association – SA) μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, που παρέχει όλη την ασφάλεια για τα δεδομένα που διακινούνται πάνω από αυτή. Για να επιτευχθεί αυτή η συσχέτιση πρέπει τουλάχιστον ένα από τα δύο μέρη στην επικοινωνία να διαθέτει κάποιο αναγνωριστικό για να μπορεί να επιβεβαιώσει την ταυτότητά του στα υπόλοιπα μέρη. Τέτοια αναγνωριστικά μπορεί να είναι κάποια μυστικά κλειδιά τα οποία μοιράζονται μεταξύ τους τα μέρη αυτά (secret keys) ή κάποια πιστοποιητικά δημόσιου κλειδιού που χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν χρήστες σε ένα δημόσιο κλειδί με την βοήθεια ενός συστήματος πιστοποίησης, όπως είναι το Public Key Infrastructure (PKI) [23].

Για να διαχειριστούμε τα κλειδιά χρησιμοποιούμε διαδικασίες οι οποίες μπορούν να χωριστούν στις εξής τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- **Symmetric Key Management Schemes:** Στην συγκεκριμένη κατηγορία η διαχείριση κλειδιών γίνεται μέσω συμμετρικής κρυπτογράφησης και πετυχαίνει την δημιουργία, διανομή, αποθήκευση και ενημέρωση του κλειδιού. Είναι μια μέθοδος ανοιχτή σε κινδύνους και αρκετά ακριβή. Οι κίνδυνοι αυτοί υπάρχουν διότι το κλειδί παράγεται σε κάποιο σημείο και πρέπει να μεταφερθεί σε τουλάχιστον ακόμη μια οντότητα, κάτι που απαιτεί μεγαλύτερο συντονισμό και επικοινωνία μεταξύ των διάφορων οντοτήτων.
- **Certificate - based Public Key Schemes:** Σε αυτήν τη περίπτωση η διαχείριση κλειδιών γίνεται με την χρήση ψηφιακών πιστοποιητικών, η οποία είναι πιο αποδοτική μέθοδος γιατί δεν απαιτεί τον συγχρονισμό που χρειαζόταν η προηγούμενη συμμετρική μέθοδος. Κάθε τύπος συσκευής για την επικοινωνία χρειάζεται μόνο ένα πιστοποιητικό και ένα ιδιωτικό κλειδί που δεν θα αποκαλύψει ποτέ. Η χρήση του Public Key Infrastructure (PKI) φαίνεται στο σχήμα 5.3. Όπως βλέπουμε μια

οντότητα που θέλει να επικοινωνήσει με μια ασφαλή οντότητα γνωστή και ως Relaying Party (RP) στέλνει μια αίτηση σε ένα Registration Authority (RA), για να υπογράψει στο πιστοποιητικό της. Το RA αξιολογεί αν μπορεί να κάνει δεκτή την αίτηση και αν ναι την υπογράφει και έπειτα την προωθεί στο Certification Authority (CA) που εκδίδει το πιστοποιητικό. Όταν μια οντότητα θέλει να επικοινωνήσει με ένα RP θα στείλει σε αυτό το πιστοποιητικό της. Το πιστοποιητικό θα ελεγχθεί μέσω ενός Validation Authority (VA) και αν είναι έγκυρο θα μπορεί να γίνει η επικοινωνία.



Σχήμα 5.3: Απεικόνιση της λειτουργία του PKI συστήματος

- **Identity – based Public Key Schemes:** Το μοντέλο αυτό επιτρέπει την χρησιμοποίηση κάποιων μοναδικών στοιχείων του χρήστη ως δημόσια κλειδιά. Έτσι δεν χρειάζονται τα πιστοποιητικά. Πρέπει όμως να υπάρχει μια αξιόπιστη οντότητα που θα δημιουργεί, θα διανέμει και θα ανακαλεί τα ιδιωτικά κλειδιά που θα αντιστοιχούν σε κάθε μοναδικό χαρακτηριστικό.

6. Έξυπνοι Μετρητές

6.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε ο ΔΕΔΔΗΕ έχει στόχο να εγκαταστήσει έξυπνους μετρητές ακόμα και σε όλα τα σπίτια, οι οποίοι θα μετρούν κάθε στιγμή την κατανάλωση ενέργειας και θα παρέχουν τη δυνατότητα για τιμολόγηση με διαφορετικές χρεώσεις και δυναμικό τρόπο.

Οι μετρητές αυτοί που θα αντικαταστήσουν τα μέχρι τώρα παραδοσιακά ρολόγια, τοποθετούνται στο εσωτερικό της κατοικία και όχι στην είσοδο μιας πολυκατοικίας όπως συμβαίνει μέχρι τώρα. Αυτό γίνεται διότι δεν χρειάζεται συνεργεία της ΔΕΗ ή των εργολάβων να έχουν πρόσβαση στους μετρητές για την καταμέτρηση καθώς από την στιγμή της εγκατάστασής τους δεν είναι αναγκαίος ο έλεγχος των μετρητών και η έκδοση έναντι λογαριασμών. Αυτόματα ο έξυπνος μετρητής στέλνει μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας τα στοιχεία κατανάλωσης του πελάτη σε ένα κεντρικό server της ΔΕΗ που θα συγκεντρώνει και θα επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά.

Ο πελάτης θα μπορεί ανά πάσα στιγμή κοιτώντας τον μετρητή να ξέρει τι κατανάλωση έχει. Μόλις βάζει σε λειτουργία συσκευές με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας ο μετρητής θα δείχνει αύξηση φορτίου και έτσι θα μπορεί να περιορίσει την αλόγιστη χρήση ενέργειας, ενώ θα σταματήσει το ενδεχόμενο να λαμβάνει λογαριασμούς που δεν συμβαδίζουν με την πραγματική του κατανάλωση.

Η ΔΕΗ θα έχει την δυνατότητα να εφαρμόσει διαφορετικά τιμολόγια ανάλογα με τον χρόνο, δηλαδή πιο ακριβά για όσους πελάτες καταναλώνουν ρεύμα κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου και πιο φτηνά για όσους περιορίζουν εκείνες τις ώρες την κατανάλωσή τους. Θα υπάρχει αυτή η δυνατότητα γιατί η ΔΕΗ θα γνωρίζει on-line μέσω των έξυπνων μετρητών ποιος πελάτης καταναλώνει περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια κάθε ώρα, κάτι που δεν μπορεί να είναι εφικτό με το σημερινό σύστημα μέτρησης που υπάρχει.

Με τον όρο έξυπνος μετρητής εννοούμε μια έξυπνη συσκευή που υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας, στέλνει τα δεδομένα στο σύστημα και έπειτα καταλήγουν στον πελάτη βοηθώντας τον να ξέρει την κατανάλωσή του αλλά και το κόστος αυτής. Στους μετρητές αυτούς υπάρχει η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, δηλαδή εκτός από την αποστολή δεδομένων μπορεί να γίνει και λήψη κάποιων εντολών από τους μετρητές. Επίσης είναι ένας

εύκολος και οικονομικός τρόπος για μέτρηση και έλεγχο της κατανάλωσης, που βοηθάει στην καλύτερη οργάνωση της παραγωγής με βάση τα real-time ημερήσια δεδομένα, πετυχαίνοντας έτσι εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας αλλά και μείωση σε επενδύσεις του δικτύου. Στόχος δηλαδή των έξυπνων μετρητών είναι οι καταναλωτές να χρεώνονται με βάση το πραγματικό ποσό ενέργειας που έχουν καταναλώσει. Ο καταναλωτής θα μπορεί να ενημερώνεται με ευκολία από την οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή του εφόσον υπάρχει ασύρματη σύνδεση μεταξύ μετρητή και υπολογιστή. Η ενημέρωση αυτή έχει σκοπό την μείωση χρήσης κάποιων συσκευών οι οποίες καταναλώνουν μεγάλες ενεργειακές ποσότητες.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι έξυπνων μετρητών στην αγορά με κυριότερους από αυτούς τους εξής:

- FLUKE 1750 και FLUKE 1760
- ACE 5000, ACE 6000, ACE 7000 ή ACTARIS SL7000
- Gran-Electro SS-101 και Gran-Electro SS-301
- CTC 5602 και CTC 5605
- Voltech - PM 3000
- AMPROBE DM-III
- Trinity Oracle Portable Power Analysis
- G4500 BLACKBOX Portable Power Quality Analyzer

Μια χαρακτηριστική περίπτωση έξυπνου μετρητή είναι ο FLUKE 1760 Three-Phase Power Quality Recorder. Αυτός ο τριφασικός μετρητής ποιότητας ισχύος έχει τη δυνατότητα να μετράει τάση, ρεύμα, ενέργεια και ισχύ καθώς και να αναλύει τις αντίστοιχες αρμονικές τους. Έχει στην είσοδό του 8 κανάλια για μέτρηση τάσεων και ρευμάτων και διαθέτει μια συχνότητα δειγματοληψίας που μπορεί να φτάσει και τα 10.24 KHz. Για την μεταφορά δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου μετρητή και οποιασδήποτε άλλης συσκευής, όπως υπολογιστή, ο μετρητής διαθέτει θύρα RS-232 όπως και θύρες Ethernet. Επίσης κατάλληλο λογισμικό μελέτης και ανάλυσης των μετρήσεων υπάρχει στον μετρητή και εγκαθίσταται στον υπολογιστή με τον οποίο επικοινωνεί η συσκευή. Σημαντικότατο χαρακτηριστικό είναι ότι ο μετρητής διαθέτει μνήμη των 2 GB, η οποία είναι αναγκαία για την αποθήκευση και στην συνέχεια την μεταφορά των μετρητικών δεδομένων. Συνεπώς ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα μέτρησης δύο διαφορετικών μεταξύ τους συστημάτων, να εντοπίσει αν υπάρχει κάποιο σφάλμα εντός της εγκατάστασής του ή εκτός, να αναλύσει τις διαταραχές και να επιβεβαιώσει την καλή ποιότητα της ισχύος που εισέρχεται.

Οι έξυπνοι μετρητές που υπάρχουν στην αγορά έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αντικαταστήσουν τους τωρινούς μετρητές ηλεκτρισμού ή διαφορετικά να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με αυτούς.



Σχήμα 6.1: Κλασσικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 6.2: Έξυπνος μετρητής (Smart Meter)



Σχήμα 6.3: Ένας πραγματικός έξυπνος μετρητής από την εταιρεία EVB Energie AG

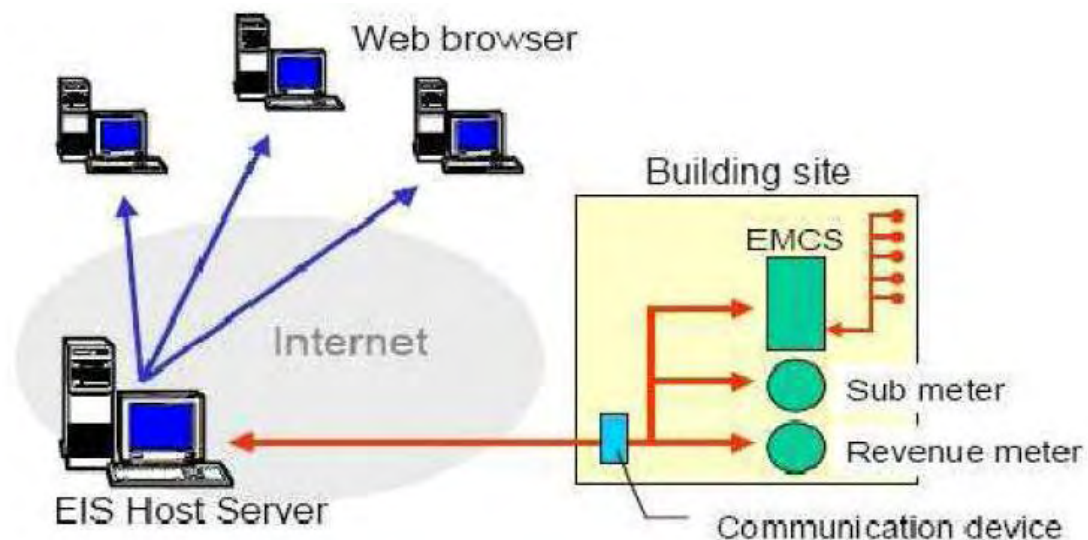
6.2 Automatic Meter Reading (AMR)

Οι καταναλωτές ολοένα και αυξάνονται με αποτέλεσμα οι εταιρείες να αναζητούν έναν αποδοτικό τρόπο υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται από αυτούς. Το AMR (Automatic Meter Reading) είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης της ενέργειας που καταναλώνεται.

Επίσης το AMR σύστημα παρέχει ένα ακόμη σύνολο ολοκληρωμένων υπηρεσιών εκτός από την μέτρηση της κατανάλωσης. Έχει τη δυνατότητα απεικόνισης της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (real-time), γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται σε μικρά τακτά χρονικά διαστήματα. Ο πελάτης γνωρίζει τι ακριβώς καταναλώνει και πληρώνει και ακόμη μπορεί να δημιουργηθεί το ενεργειακό προφίλ κατανάλωσης του πελάτη ή του κτιρίου. Το προφίλ αυτό αποτελεί ένα σοβαρό πιστοποιητικό που δίνει στον πελάτη αγοραστική δύναμη σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Με το προφίλ αυτό φαίνεται τι καταναλώνει ο πελάτης και ποια ακριβώς χρονική στιγμή, άρα αυτό μπορεί να βοηθήσει στην οικονομία ενέργειας και χρημάτων με τον εντοπισμό άσκοπων φορτίων ή και με την αποφυγή ποινών λόγω κατανάλωσης ενέργειας σε ώρες αιχμής. Σημαντικό είναι ότι μπορεί να βοηθήσει στην σωστή πρόβλεψη ζήτησης της επόμενης μέρας από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και την αποδοτική ένταξη μονάδων παραγωγής στο σύστημα. Επιπλέον με το σύστημα αυτό προσφέρονται δυνατότητες χειρισμού φορτίου, ανίχνευσης

σφαλμάτων στο δίκτυο, έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος αλλά και αξιοπιστία σε μετρήσεις.

Το AMR συλλέγει δεδομένα, όπως μετρήσεις και καταναλώσεις και τα στέλνει σε μια κεντρική υπολογιστική βάση δεδομένων όπου γίνονται η αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Η όλη επικοινωνία γίνεται μέσω ενός ενσύρματου ή ασύρματου επικοινωνιακού διαύλου ή μέσω γραμμής μεταφοράς με φέροντα κύματα και πραγματοποιείται είτε με μονομερή αποστολή δεδομένων από το σύστημα στον διακομιστή ανά τακτά χρονικά διαστήματα, είτε με αποστολή μετά από αίτηση του διακομιστή, είτε με συνδυασμό των δύο παραπάνω.



Σχήμα 6.4: Η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης – AMR

Για την εγκατάσταση του AMR συστήματος απαιτούνται οι εξής παράγοντες:

- Γεωγραφική δομή της περιοχής.
- Δομή των ηλεκτρικών γραμμών.
- Θέση, Συχνότητα, Περιοχή Κάλυψης του GSM σταθμού που υπάρχει στην περιοχή.
- Ύψος και θέση των κτιρίων.
- Αριθμός Καταναλωτών.
- Θέσεις των καταναλωτών και η κατάσταση συχνότητας επικοινωνίας στο δίκτυο.
- Αριθμός καταναλωτών ηλεκτρισμού, νερού, γκαζιού.



Σχήμα 6.5: Απεικόνιση τιμής, κατανάλωσης και κόστους

6.3 Ο έξυπνος μετρητής ως τοίχος προστασίας (firewall) ανάμεσα σε εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον

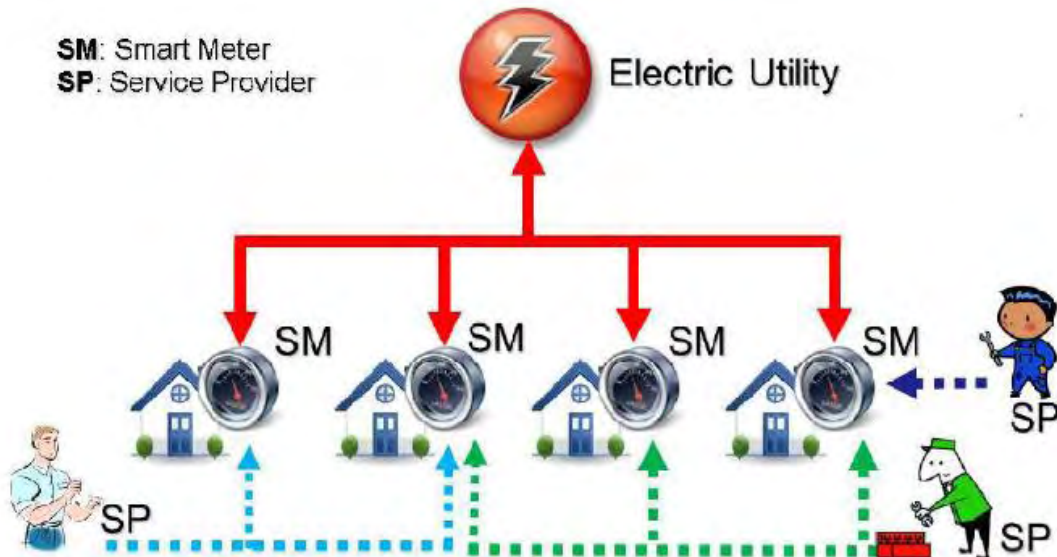
Ο έξυπνος μετρητής έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως τοίχος προστασίας που ελέγχει την εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση και διασφαλίζει το απόρρητο των χρηστών, όπως και την ακεραιότητα των μηνυμάτων που διακινούνται. Έχει επίσης τον ρόλο του μεσολαβητή για να μεταφέρει τις οδηγίες του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας προς τις έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού. Ακόμη επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσίας να παρακολουθούν και να βοηθούν σε τεχνικά θέματα τους πελάτες τους μέσω της υπάρχουσας δομής επικοινωνίας. Έτσι στην ουσία υπάρχει μια σχέση εμπιστοσύνης μεταξύ του παρόχου ηλεκτρισμού και του μετρητή.

Τον εσωτερικό κόσμο αποτελεί το Home Area Network (HAN) που περιλαμβάνει τις επικοινωνίες μεταξύ των οικιακών έξυπνων συσκευών, ενώ τον εξωτερικό κόσμο αντίστοιχα αποτελεί το Wide Area Network (WAN) που περιλαμβάνει τις επικοινωνίες μεταξύ των σπιτιών, των παρόχων και των διαχειριστών του συστήματος.

Για να προστατέψει ο μετρητής την ιδιωτική ζωή των χρηστών κρύβει αυτά τα ατομικά στοιχεία από τον πάροχο ενέργειας. Αντί ο πάροχος να ελέγχει άμεσα τις οικιακές συσκευές θα ζητάει από τον μετρητή να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και να διαλέξει ποιες συσκευές να κλείσει ή να μειώσει την λειτουργία τους. Στο τέλος οι πελάτες θα αποφασίζουν όμως την προτεραιότητα κάθε συσκευής τους.

Επίσης ο έξυπνος μετρητής θα έχει επικοινωνία με τους παρόχους υπηρεσίας, οι οποίοι έχουν υπογράψει συμβόλαιο για να διατηρούν κάποιες ηλεκτρικές συσκευές. Έτσι θα καταγράφει και θα αντιστοιχεί έναν πάροχο υπηρεσίας με τις αντίστοιχες συσκευές και θα δημιουργεί μια επικοινωνία μεταξύ τους. Η παροχή μηνυμάτων θα γίνεται μόνο μεταξύ των παρόχων υπηρεσίας που έχουν

υπογράψει συμβόλαιο με τις συσκευές για τις οποίες είναι υπεύθυνοι. Έτσι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί για παράδειγμα να στείλει μηνύματα σε ένα συγκεκριμένο και πιστοποιημένο μηχανικό υπηρεσίας μέσω του έξυπνου μετρητή.



Σχήμα 6.6: Σχέση έξυπνων μετρητών και τεχνικών υπηρεσίας

Συνεπώς ο ηλεκτρικός πάροχος θα στέλνει προς τους έξυπνους μετρητές οδηγίες σχετικές με την κατανάλωση και θα συλλέγει από αυτούς στοιχεία κατανάλωσης σε τακτά διαστήματα. Στις περιόδους αιχμής ο πάροχος θα ζητάει από τους μετρητές να περιορίσουν την κατανάλωση δίνοντάς τους και κίνητρα όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα θα είναι αρμοδιότητα του μετρητή να κανονίσει την λειτουργία των αντίστοιχων οικιακών συσκευών και ο πάροχος δεν θα γνωρίζει τίποτα για την διαδικασία αυτή.

Οι πάροχοι υπηρεσιών θα εγγράφονται σε έναν ηλεκτρικό πάροχο και θα δίνουν πιστοποιητικά για την αυθεντικότητά τους όπως και κλειδιά επικοινωνίας για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Στην συνέχεια θα υπογράφουν συμβόλαια με πελάτες για τις συσκευές που θα υποστηρίζουν. Τέλος ο μετρητής θα επιτρέπει την επικοινωνία των συσκευών μόνο με παρόχους για τους οποίους έχει στην κατοχή του έγκυρα πιστοποιητικά.

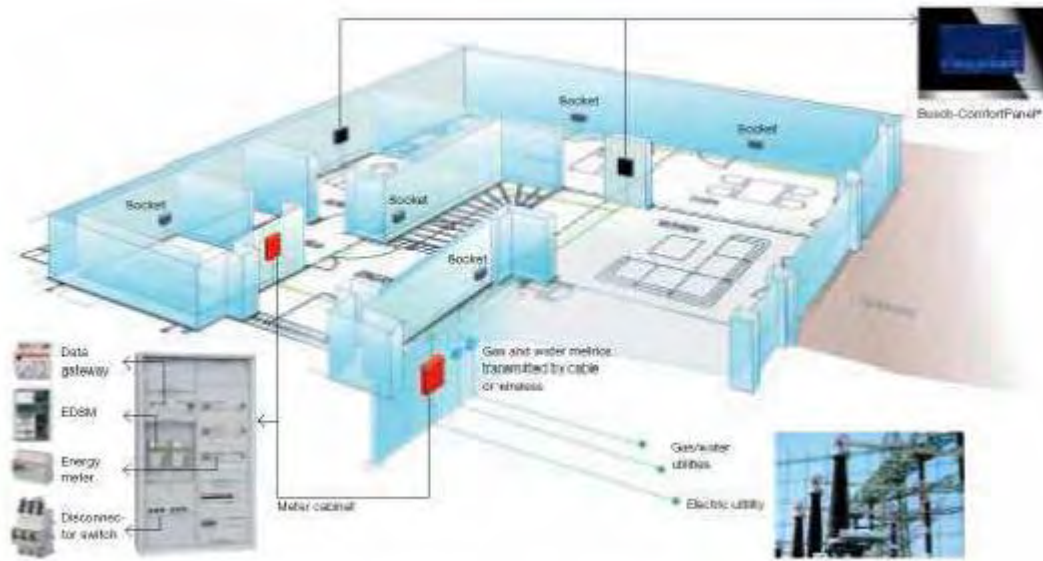
6.4 Έξυπνοι μετρητές στην οικία

Από την μεριά των καταναλωτών υπάρχουν δύο τάσεις που αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο βλέπουν την ενέργεια. Η πρώτη από αυτές είναι οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που έχουν και οι επιπτώσεις από την αλόγιστη χρήση ενέργειας. Η δεύτερη είναι το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας που οδηγεί τους καταναλωτές στην μείωση της κατανάλωσης. Και οι δύο αυτές τάσεις επηρεάζουν τον τρόπο χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά όμως τις προθέσεις των καταναλωτών δεν είναι εύκολο να συνδεθούν καθημερινές μας ενέργειες με τον αντίστοιχο ενεργειακό τους αντίκτυπο και να δράσουμε αναλόγως.

Η εγκατάσταση όμως έξυπνης τεχνολογίας όπως είναι οι έξυπνοι μετρητές, αλλάζει τα δεδομένα στην κατάσταση αυτή. Παράλληλα με μια κατάλληλη πύλη δεδομένων, μια τέτοια συσκευή δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να παρακολουθούν την κατανάλωσή τους και να προσπαθούν για την βελτιστοποίησή της. Αυτά τα δεδομένα εμφανίζονται σε γραφική μορφή, εύκολη στην κατανόηση, βοηθώντας τους καταναλωτές να δούνε άμεσα τα αποτελέσματα των ενεργειών τους, όπως για παράδειγμα όταν εγκαταστήσουν ένα ενεργειακά αποδοτικό ψυγείο.

Η πύλη δεδομένων εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρακολουθεί και να απεικονίζει και την κατανάλωση άλλων πηγών (νερό, αέριο, θερμότητα) και να αποτελεί μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα μετρήσεων. Τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν στους πελάτες με διάφορους τρόπους όπως στην οθόνη του υπολογιστή ή στο κινητό τηλέφωνο. Τα στοιχεία αυτά προωθούνται και στους προμηθευτές.

Μόλις εγκατασταθεί ένας έξυπνος μετρητής, η ανάγκη που υπήρχε τόσα χρόνια ώστε ένας εργαζόμενος της εταιρείας παροχής ηλεκτρισμού να διαβάσει χειροκίνητα την ένδειξη των μετρητών αποτελεί παρελθόν. Η εταιρεία διαβάσει την κατανάλωση εξ αποστάσεως από τον μετρητή. Ακόμη με μια λεπτομερή ανάλυση μπορούν να εντοπιστούν πιθανές ζημιές στο δίκτυο. Συνεπώς οι έξυπνοι μετρητές θα έχουν κύριο ρόλο στο μέλλον όπου οι προμηθευτές θα έχουν μεγάλη ελευθερία στο να επιλέγουν τον προμηθευτή ενέργειας.



Σχήμα 6.7: Ένα δίκτυο από έξυπνες οικιακές συσκευές



Σχήμα 6.8: Η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών σε παγκόσμιο επίπεδο

6.5 Οφέλη από την χρήση Έξυπνων μετρητών

Η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών έχει πολλά οφέλη που αφορούν όλους τους τομείς της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και επηρεάζουν την κοινωνία. Τα σημαντικότερα από αυτά αναλύονται στην συνέχεια [24].

Οφέλη για τους καταναλωτές:

- **Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο:** Οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν στους καταναλωτές ΗΕ τη δυνατότητα να γνωρίζουν την πραγματική κατανάλωσή τους καθώς είναι σε θέση να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time metering). Σε αντίθεση με την παλαιότερη αναλογική τεχνολογία μέτρησης, οι έξυπνοι μετρητές είναι ψηφιακά συστήματα που μπορούν να μεταδίδουν περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) πληροφορίες κατανάλωσης σε κατάλληλες πλατφόρμες επικοινωνίας (monitor συσκευής, οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας, οθόνη υπολογιστή, εφαρμογή σε smartphone). Αυτές οι πλατφόρμες παρουσιάζουν σε ένα διαδραστικό φιλικό περιβάλλον γραφήματα με τη μέση κατανάλωση ΗΕ και το κόστος αυτής, τις πιθανές εκπομπές ρύπων και τις πολιτικές κατανάλωσης. Επομένως, οι καταναλωτές ΗΕ διαθέτουν την πλήρη εποπτεία του ενεργειακού τους προφίλ, αλλά και τη δυνατότητα μεταβολής του. Μέσω της διαρκούς πληροφόρησης και με χρήση κατάλληλων ICT εργαλείων, οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να μειώσουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα.
- **Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας:** Εκτός από την πραγματοποίηση μετρήσεων και την αποστολή δεδομένων, οι έξυπνοι μετρητές διαθέτουν και τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών/εντολών και αποτελούν την πύλη επικοινωνίας καταναλωτών ΗΕ με τους προμηθευτές ΗΕ. Κάθε καταναλωτής μπορεί να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο από τον προμηθευτή του για την τιμή χρέωσης της kWh, για ενδεχόμενες προσφορές και εκπτώσεις, για θέματα ασφάλειας (έκτακτες διακοπές παροχής). Αντίστοιχα, και ο καταναλωτής είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον προμηθευτή, αποστέλλοντας π.χ. αιτήσεις, παράπονα, ερωτήσεις.
- **Δυνατότητα λήψης εντολών:** Ο έξυπνος μετρητής μπορεί μέσω της πλατφόρμας επικοινωνίας να λάβει και αποθηκεύσει εντολές. Κάθε καταναλωτής ΗΕ, δηλαδή, όχι μόνο γνωρίζει το ενεργειακό του προφίλ, αλλά μπορεί να μεταβάλλει, να προγραμματίσει και να κατευθύνει την κατανάλωση προς το συμφέρον του. Μπορεί, για παράδειγμα, να

προγραμματίζει τις συσκευές του (π.χ. πλυντήριο, κλιματιστικά, εγκατάσταση φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου) να λειτουργούν οικονομικά μεταθέτοντας την κατανάλωση ΗΕ σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη σε συνθήκες απελευθερωμένης αγοράς, όπου οι προμηθευτές ΗΕ προσφέρουν ευέλικτες διαδικασίες τιμολόγησης παρόμοιες με το ισχύον νυχτερινό τιμολόγιο, αλλά με την πρόσθετη δυνατότητα δυναμικής μεταβολής.

- **Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το ΗΔ:** Ο καταναλωτής μπορεί κατά βούληση να ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τη σύνδεση, τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για λόγους εξοικονόμησης ΗΕ.
- **Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή ΗΕ:** Με τους έξυπνους μετρητές παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να αλλάζουν πάροχο, με παρόμοιες διαδικασίες όπως αυτές της παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Αυτό θα συμβάλει αποφασιστικά στην ενίσχυση του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών, άρα και στη μεγιστοποίηση του οφέλους για τους καταναλωτές ΗΕ.
- **Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος:** Οι έξυπνοι μετρητές ενσωματώνουν διατάξεις που επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού ρεύματος. Παρέχουν λειτουργίες εξομάλυνσης της τάσης/συχνότητας και προστασίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις.

Οφέλη για τους προμηθευτές ΗΕ:

- **Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο:** Ο έξυπνος μετρητής αποστέλλει περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) κρυπτογραφημένα δεδομένα για την κατανάλωση ΗΕ σε εξουσιοδοτημένα Κέντρα Λειτουργίας, παρέχοντας στον προμηθευτή ΗΕ τη δυνατότητα να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο το φορτίο του δικτύου που διαχειρίζεται.
- **Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων:** Οι έξυπνοι μετρητές παράγουν ψηφιακά δεδομένα που μπορούν να αποθηκευθούν, να μεταδοθούν με αξιοπιστία και ασφάλεια, να ανακτηθούν, να υποστούν επεξεργασία και ανάλυση πολλών επιπέδων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών δεδομένων καθιστούν εφικτή την εφαρμογή πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (Demand Response) και διαχείρισης του φορτίου (Load Management). Οι προμηθευτές ΗΕ μπορεί να δημιουργήσουν βάσεις δεδομένων και με κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας της

πληροφορίας να αποκτήσουν τη δυνατότητα αξιόπιστης πρόβλεψης των αναγκών των πελατών τους, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, και να αγοράσουν τα αντίστοιχα απαιτούμενα μεγέθη ΗΕ που θα απαιτηθούν, με ικανοποιητική ακρίβεια. Ο περιορισμός του επιπλέον κόστους λόγω της ακριβέστερης εκτίμησης της ζήτησης ΗΕ έχει άμεσο αντίκτυπο και στην τιμολόγηση της ΗΕ προς τους καταναλωτές.

- **Απομακρυσμένη εκκίνηση και διακοπή της σύνδεσης:** Μέσω των έξυπνων μετρητών παρέχεται η δυνατότητα στον πάροχο να εκκινεί και να διακόπτει την παροχή για λόγους ασφάλειας και προστασίας του δικτύου του καταναλωτή. Επιπλέον, σε περιπτώσεις μη τήρησης των υποχρεώσεων εκ μέρους κάποιου, μπορεί να διακόψει αμέσως την παροχή ΗΕ αλλά και να την αποκαταστήσει τάχιστα, εφόσον διευθετηθούν οι μεταξύ τους διαφορές.
- **Έγκαιρος εντοπισμός και επέμβαση σε περίπτωση κλοπής:** Στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις που συλλέγονται από τους μετρητές των καταναλωτών ΗΕ βρίσκονται σε αναντιστοιχία με τις ενδείξεις των μετρητών παρεχόμενης ενέργειας του ΔΔ, ο προμηθευτής ΗΕ έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει ενδεχόμενη κλοπή ΗΕ και να διακόψει αμέσως την παροχή.
- **Εξάλειψη της δαπάνης της συμβατικής διαδικασίας καταμέτρησης ΗΕ:** Με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών, ο συμβατικός τρόπος καταμέτρησης της καταναλωθείσας ΗΕ από υπαλλήλους του παρόχου καταργείται. Παράλληλα, εξαλείφονται και οι περιπτώσεις ανθρώπινου λάθους κατά την καταγραφή που οδηγούν σε λανθασμένες χρεώσεις και προκαλούν προβλήματα στις σχέσεις μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών.

Οφέλη για τον διαχειριστή του Δικτύου Διανομής:

- **Βελτίωση ποιότητας ρεύματος:** Ο διαχειριστής του συστήματος συλλέγοντας από τους έξυπνους μετρητές πληροφορίες για την ποιότητα του ρεύματος που προσφέρει, και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από τις άλλες μετρητικές διατάξεις που είναι εγκατεστημένες στο δίκτυο, μπορεί να ενημερωθεί, να εντοπίσει και να επέμβει άμεσα στα σημεία του δικτύου που αντιμετωπίζουν προβλήματα ως προς την τάση και τη συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. από σφάλματα ή από χρήση βιομηχανικού εξοπλισμού). Ο διαχειριστής του συστήματος έχει, επίσης, τη δυνατότητα να θέσει σε λειτουργία διατάξεις εξομάλυνσης κατά εστιασμένο τρόπο με άμεσα αποτελέσματα. Κατ'

αυτόν τον τρόπο, αποφεύγει πιθανές αποζημιώσεις σε πελάτες για καταστροφή μηχανημάτων και εξοπλισμού.

- **Πρόληψη σφαλμάτων και διακοπών ή άμεση αποκατάστασή τους:** Διαθέτοντας τη δυνατότητα άμεσης πληροφόρησης ο διαχειριστής μπορεί να προλαμβάνει σφάλματα, διακοπές και καταστροφές εξοπλισμού. Στην περίπτωση όπου τελικώς υπάρξουν βλάβες, επιταχύνεται ο εντοπισμός και η αποκατάσταση τους.

Οφέλη για ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο:

- **Μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων:** Διαθέτοντας πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο, ελαχιστοποιούνται η παραγωγή πλεονάζουσας ΗΕ και οι απώλειες μεταφοράς και διανομής, και αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ΗΕ. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι μειωμένες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από τις θερμικές μονάδες.
- **Εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου του συστήματος:** Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εξαγωγή και εύκολη διαχείριση και επεξεργασία των πληροφοριών κατανάλωσης ΗΕ παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (D-R) σε μεγάλη κλίμακα. Ως εκ τούτου, λοιπόν, καθίσταται εφικτή η μετάθεση μέρους της κατανάλωσης ΗΕ σε περιόδους χαμηλότερης ζήτησης (load shifting) και η εξομάλυνση των μεγάλου κόστους αιχμών της καμπύλης φορτίου (peak shaving) . Σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ΗΕ, επιτυγχάνεται μείωση της ανάγκης για επενδύσεις σε νέες μονάδες παραγωγής ΗΕ και σε επεκτάσεις του συστήματος μεταφοράς και διανομής για να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση αιχμής.
- **Ευκολότερη εφαρμογή κοινωνικής πολιτικής:** Με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών διευκολύνονται και επιταχύνονται οι διαδικασίες εφαρμογής κοινωνικής πολιτικής σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού. Για παράδειγμα, αν κάποιος καταναλωτής έχει αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια λόγω ασθένειας μπορεί άμεσα να επιδοτηθεί και να συνάψει ειδική συμφωνία με τον πάροχο.

6.6 Η κατάσταση στο Ελληνικό δίκτυο

Για την διείσδυση των έξυπνων μετρητών στο ελληνικό δίκτυο ενέργειας τέσσερα είναι τα μεγάλα έργα που έχει αναλάβει ο ΔΕΔΔΗΕ:

- Το σύστημα τηλεμέτρησης πελατών ΜΤ (ολοκληρωμένο)
- Το σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών ΧΤ (ολοκληρωμένο)
- Και το πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων (σε εξέλιξη)
- Το μελλοντικό έργο που θα καλύπτει το σύνολο των 7.500.000 μετρητών της ελληνικής επικράτειας

Απώτερος στόχος του ΔΕΔΔΗΕ είναι η αντικατάσταση του 80% των συμβατικών μετρητών με έξυπνους μέχρι το 2020, με το 40% να έχει αντικατασταθεί μέχρι τα μέσα του 2017 (Υ.Α. ΦΕΚ Β' 297/13.2.2013 «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΔΔΗΕ»).



Σχήμα 6.9: Τα κύρια έργα και οι στόχοι στο έργο της τηλεμέτρησης.

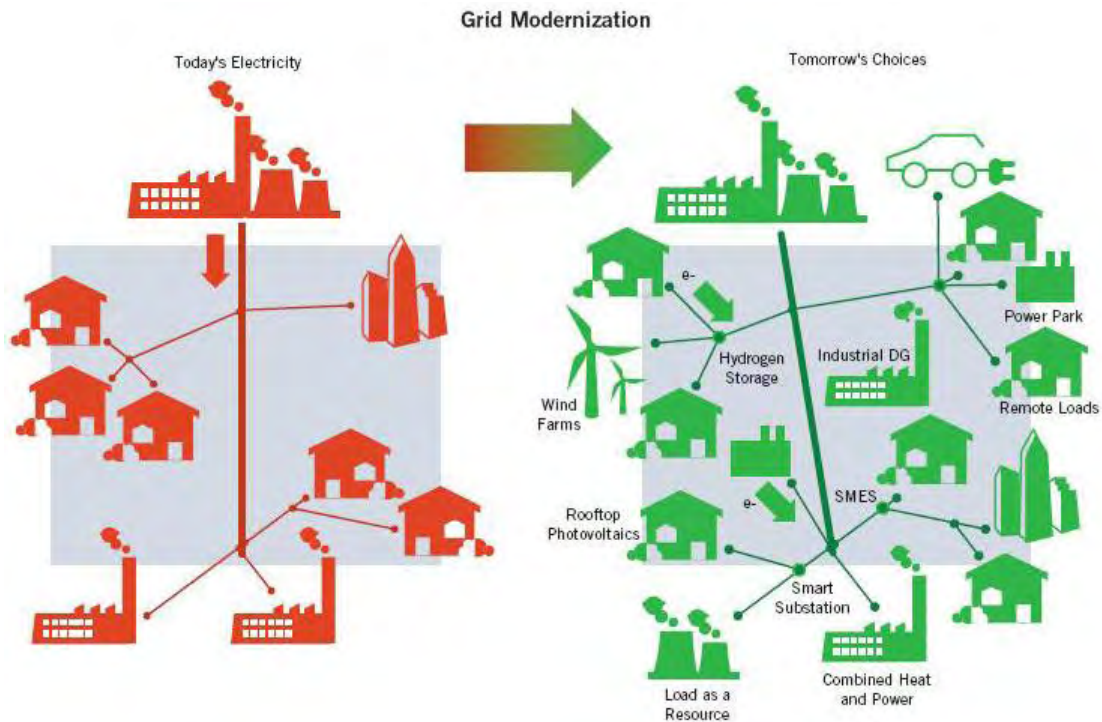
Συνεπώς καταλήγουμε στο ότι ο ΔΕΔΔΗΕ είναι σε μεταβατικό στάδιο και επιχειρεί να αναβαθμίσει το δίκτυο διανομής, ακολουθώντας τις Ευρωπαϊκές οδηγίες και τις διεθνείς τάσεις. Τα μεγάλα αυτά έργα εγκατάστασης έξυπνων μετρητών κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση. Επίσης η δημιουργία του Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), θα βοηθήσει στην αποτύπωση του δικτύου σε ψηφιακή μορφή, κάτι που είναι απαραίτητο για την αξιοποίηση των έξυπνων μετρητών και την πορεία προς την κατεύθυνση του Έξυπνου Δικτύου.

7. Συμπεράσματα

Συμπεραίνουμε ότι σταδιακά το γνώριμο μοντέλο δικτύων θα μετασχηματιστεί σε ένα νέο μοντέλο, το γνωστό ως ευφύες ή έξυπνο δίκτυο, το οποίο θα έχει ενεργό ρόλο και θα εξασφαλίζει την αμφίδρομη ροή ισχύος. Το δίκτυο αυτό μπορεί να ενσωματώνει τις ενέργειες και τη συμπεριφορά όλων των χρηστών (παραγωγοί και καταναλωτές), ώστε να εξασφαλίζει ασφάλεια, σταθερότητα και οικονομική παροχή ενέργειας. Άρα το έξυπνο δίκτυο αποτελεί ένα συνδυασμό εξοπλισμού και λογισμικού που δίνει την δυνατότητα στους πελάτες να ελέγχουν την ζήτηση ενέργειας.

Συνοπτικά τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα αναμένεται να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Εκτεταμένη μικρή και διανεμημένη παραγωγή τοπικά κοντά στο σημείο κατανάλωσης και τελικής χρήσης.
- Εναρμονισμένο νομικό πλαίσιο το οποίο θα επιτρέπει την διασυνοριακή συναλλαγή των υπηρεσιών ενέργειας και δικτύων.
- Συντονισμένη τοπική ενεργειακή διαχείριση και πλήρης διείσδυση διανεμημένης παραγωγής και τεχνολογιών ΑΠΕ στην μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενέργειας.
- Η ποιότητα, η ασφάλεια και η αξιοπιστία μπορούν να καθορίζονται από το χρήστη στη νέα ψηφιακή εποχή.
- Ευέλικτη διαχείριση της ζήτησης και ενσωμάτωση υπηρεσιών με τις οποίες ο καταναλωτής μπορεί να συμμετέχει σε αυτή.
- Ευέλικτη, βέλτιστη και στρατηγική λειτουργία, επέκταση και συντήρηση των δικτύων.



Σχήμα 7.1: Ο εκσυγχρονισμός του δικτύου ενέργειας σε ένα έξυπνο δίκτυο

Συνεπώς τα έξυπνα δίκτυα αποτελούν καταλύτη για την επίτευξη μιας ανταγωνιστικής οικονομίας με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η ευελιξία και η απόκριση που προσφέρουν, καθώς και οι δυνατότητες για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εγκαταστάσεων αποθήκευσης στα ηλεκτρικά συστήματα συμβάλλουν στην αύξηση της ασφάλειας εφοδιασμού και πολλαπλασιάζουν τα οφέλη για τους καταναλωτές. Οι παθητικοί μέχρι τώρα καταναλωτές θα μετατραπούν σε ενεργούς που θα ελέγχουν και θα προσαρμόζουν την κατανάλωσή τους.

Στο μέλλον κύριος στόχος των ηλεκτρικών και θερμικών δικτύων θα είναι η αξιοπιστία, η εξοικονόμηση ενέργειας, η προσαρμογή στις τοπικές ανάγκες και η ασφάλεια απέναντι στον χρήστη. Προϋποθέσεις για την επίτευξη των συγκεκριμένων στόχων είναι η εκτεταμένη εφαρμογή διατάξεων αποθήκευσης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2001.
- [2] ΑΔΜΗΕ, «Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.admie.gr.
- [3] ΔΕΔΔΗΕ, «Διαχειριστής Ελληνικού Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.deddie.gr.
- [4] ΥΠΕΚΑ, «ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.ypeka.gr.
- [5] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» <http://www.lagie.gr/agora/analysisi-agoras/miniaia-deltia-ier/>, Μηνιαία Δελτία ΗΕΠ.
- [6] ΡΑΕ, «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.rae.gr.
- [7] Κόλλιας, Γεώργιος, «Ο ρόλος των δικτύων στο εξηλεκτρισμό της Ελλάδας και η μελλοντική τους εξέλιξη,» Πρόεδρος ΔΕΔΔΕΗ, 2013.
- [8] ΥΠΕΚΑ, «Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός - Οδικός Χάρτης για το 2050,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2012.
- [9] «Εφαρμογή τεχνολογιών – Έξυπνης μέτρησης στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ,» ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα, Οκτώβριος 2013.
- [10] «<http://www.smartgrid-metrology.eu/workshop>,» [Ηλεκτρονικό].
- [11] Ανδρέας Κατεργιαννάκης, «Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης / προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίχωρο διαμέρισμα»
- [12] "Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them", US Department of Energy, February 2006.
- [13] Πρώην ΔΕΣΜΗΕ και νυν ΑΔΜΗΕ, «ΜΑΣΜ (Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος) 2010-2014», Ελλάδα
- [14] E. Commision and Brussels, "Smart Grids: from innovation to deployment," *COM (2011) 202 final*, 2011.
- [15] NIST and Smart Grid Co-ordination Group, "White paper on standardization of Smart Grids".

- [16] C. Boutin, “U.S., Europe Collaborating on Smart Grid Standards Development”. NIST Tech Beat, 2011.
- [17] www.iene.gr/energyweek09/articlefiles/b2b/1stSession/ROOM_B/4_XATZIVA_S.pdf
- [18] CEN CENELEC ETSI, “Final report Standards for Smart Grids”, May, 2011.
- [19] U.S. Department of Commerce, “NIST Special Publication 1108 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0”, 2010.
- [20] “A Reliability Perspective of the Smart Grid”, Khosrow Moslehi and Ranjit Kumar. IEEE Transactions on Smart Grid June 2010.
- [21] G. Mantas, D. Lymberopoulos, and N. Komninos, “Security in Smart Home Environment,” in *Wireless Technologies for Ambient Assisted Living and Healthcare: Systems and Applications*, 2011, pp. 170–191.
- [22] V. Aravinthan, V. Namboodiri, S. Sunku, and W. Jewell, “Wireless AMI application and security for controlled home area networks,” *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–8, Jul. 2011.
- [23] The Smart Grid Interoperability Panel – Cyber Security Working Group, *Introduction to NISTIR 7628 Guidelines for Smart Grid Cyber Security - All Volumes*, no. September. 2010.
- [24] European Commission, «Σύσταση της Επιτροπής σχετικά με τις προετοιμασίες για την εμπορική εξάπλωση των έξυπνων συστημάτων μέτρησης (2012/148/ΕΕ),» Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ελληνική έκδοση), Ε.Ε., Μάρτιος 2012.
- [25] Κων/νος Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,» ΔΕΔΔΗΕ, 2014
- [26] D. US Department of Energy, «Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them,» DOE, USA, February 2006.
- [27] Schleicher-Tappeser και Ruggero, «How renewables will change electricity markets in the next five years,» *Energy Policy*, pp. 64-75, Vol.48 2012.
- [28] EEI-AEIC-UTC, «Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective,» Edison Electric Institute, USA, March 2011.
- [29] «Εφαρμογή τεχνολογιών – Έξυπνης μέτρησης στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ,» ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα, Οκτώβριος 2013.