



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνικές μηχανικής
μάθησης**

Μπαϊρακτάρης Ιωάννης

Επιβλέποντες Καθηγητές: Τσουκαλάς Ελευθέριος

Καθηγητής Π.Θ

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ

Βόλος 2018



University of thessaly

Department of Electrical and Computer Engineering

DIPLOMA THESIS

Smart grids with machine learning

Bairaktaris Ioannis

Supervisors: Lefteri Tsoukalas

Professor UTH

Bargiotas Dimitrios

Associate Professor UTH

Volos 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τσουκαλά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε. Καθώς επίσης και τον κύριο Μπαργιώτα ως συνεπιβλέπων καθηγητή για τις συμβουλές του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την πολύτιμη στήριξη σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία αξιοποιούν τις τεχνικές μηχανικής μάθησης. Η σύγχρονη προσέγγιση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την αξιοποίηση και ενσωμάτωση ενός μεγάλου εύρους ψηφιακών τεχνολογιών κατά μήκος της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός αποδοτικού, εύρωστου, φιλικού προς το περιβάλλον και εύκολου στη διαχείριση του δικτύου, ενώ καθιστούν εύκολη την παρακολούθηση και τον έλεγχο όλων των δομικών του στοιχείων.

Στο 1^ο κεφάλαιο διεξάγεται μία παρουσίαση του παραδοσιακού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος όλων των σταδίων του. Επίσης παρατίθενται τα κυριότερα μειονεκτήματα του.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέρονται τα οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή τους, αλλά και ορισμένα ζητήματα που χρήζουν αντιμετώπισης. Διεξάγεται μία περιγραφή της δομής και των χαρακτηριστικών των συγκεκριμένων συστημάτων.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνικές μηχανικής μάθησης οι οποίες εφαρμόζονται στα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζεται ο ρόλος που επιτελούν καθώς και οι κυριότερες εφαρμογές τους.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι έξυπνοι μετρητές που χρησιμοποιούνται στα εξεταζόμενα δίκτυα, καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή τους. Επίσης γίνεται αναφορά και στον βαθμό εισαγωγής τους στο ελληνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το περιεχόμενο της έννοιας της διαχείρισης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλουν σε αυτήν η δυναμική τιμολόγηση και οι έξυπνοι μετρητές.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού των μικροδικτύων

Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το διαδίκτυο των πραγμάτων και τα σεναρια ενίσχυσης που μπορεί να προσφέρει σε ένα έξυπνο δίκτυο

Abstract

This diploma thesis describes smart grids that employ machine learning methods. Modern approaches to electricity networks involve the integration of a wide range of digital technologies to every aspect of the power system. Smart grids contribute to the development of an efficient, robust, environmentally friendly and easy to manage network, while making easy the monitoring and control of its elements.

In the 1st Chapter we present the traditional power system with its elements. We also list its main drawbacks.

In the 2nd Chapter we present smart grids of electricity. We state their main benefits, as well as some issues that need to be addressed. We describe their structure and characteristics.

In the 3^d Chapter we analyze machine learning methods that are employed on smart grids of electricity. We present their tasks as well as their main applications.

In the 4th Chapter we present smart meters that are used in smart grids, as well as their main benefits. We also refer the state of their entry to the Greek electricity network.

In the 5th Chapter we present the concept of the energy demand management, as well as the frame by which dynamic pricing and smart meters contribute to its application.

In the 6th Chapter we present scheduling algorithms of microgrids.

In the 7th Chapter we present the importance of internet of thing, and how it can improve the smart grid.

Περιεχόμενα

1. Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Το ελληνικό ΣΗΕ	2
1.3. Τα μειονεκτήματα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου	6
2. Ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας	13
2.1 Ορισμός	13
2.2 Οφέλη των ευφύων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
2.3. Η δομή των ευφύων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας	14
2.4. Μετάδοση δεδομένων στο ευφυές δίκτυο.....	16
2.5. Ζητήματα που χρήζουν αντιμετώπισης	17
2.6. Χαρακτηριστικά των ευφύων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.....	18
2.7 Παράδειγμα δικτύων στο έξυπνο δίκτυο.....	23
2.7.1 Μικροδίκτυο.....	23
2.7.2 Grid to Vehicle(G2V) και Vehicle to Grid(V2G).....	24
3. Σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ενάντια σε κακόβουλες δραστηριότητες στις επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου.....	25
4. Έξυπνοι μετρητές	35
4.1 Εισαγωγή	35
4.2. Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή.....	35
4.3. Πλεονεκτήματα για τον προμηθευτή.....	36
4.4. Είδη μετρητών.....	37
4.4.1. Ηλεκτρομηχανικός μετρητής.....	37
4.4.2. Ηλεκτρονικός μετρητής.....	37
4.4.3 Μετρητές προπληρωμής.....	38
4.4.4. Έξυπνοι μετρητές.....	38
4.5 Έξυπνα μετρητικά συστήματα.....	39
4.6 Έξυπνο σύστημα OWL intuition	40
4.7. Έξυπνος μετρητής και προστασία (firewall).....	41
4.8. Έξυπνοι μετρητές στο ελληνικό δίκτυο.....	42
5. Διαμόρφωση τιμής, δυναμική τιμολόγηση και ζήτηση	43
5.1 Εισαγωγή	43
5.2. Δυναμική τιμολόγηση και ΗΠΑ	43
5.3. Μεταβολή τιμής	45

5.4. Διαχείριση ζήτησης	46
5.4.1 Ανάπτυξη και εφαρμογές του DSM.....	47
6.Χρονοπρογραμματισμός μικροδικτύων.....	49
6.1 Το μοντέλο.....	49
6.2. Το πρόβλημα	50
6.3. Χρονοπρογραμματισμός και διαχείριση αποθηκευτικής ικανότητας.....	50
7.Εξυπνα δίκτυα και internet of things	54
7.1 Κύριες τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων	55
7.2 Αρχιτεκτονική του IoT.....	56
7.3 Γενικές εφαρμογές και εφαρμογές στο έξυπνο δίκτυο	56

1. Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1. Εισαγωγή

Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) αποτελείται από τις εγκαταστάσεις και τα μέσα τα οποία αξιοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις εξυπηρετούμενες περιοχές. Ένα ΣΗΕ επιτυγχάνει τον σκοπό του όταν παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο κάθε σημείο ζήτησης με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και τη χαμηλότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, διασφαλίζοντας σταθερή τάση και συχνότητα, καθώς και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης [1].

Το ΣΗΕ διαχωρίζεται σε τρεις επιμέρους συνιστώσες:

- Σύστημα παραγωγής: Αποτελείται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και τους μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης για τη μεταφορά ρεύματος από υπερυψηλή και υψηλή τάση. Ο κυριότερος όγκος ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα προέρχεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια μέσα από θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς αντιστοίχως.
- Σύστημα μεταφοράς: Αναλαμβάνει τη σύνδεση των μεγάλων σταθμών παραγωγής και των διαφορετικών συστημάτων μεταξύ τους και μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη βάση του ΣΗΕ, ενώ λειτουργεί στη μέγιστη δυνατή τάση. Συστατικά του στοιχεία είναι τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσης, οι υποσταθμοί ζεύξης των συγκεκριμένων δικτύων, καθώς και οι υποσταθμοί μετασχηματισμού των διαφόρων χρησιμοποιούμενων επιπέδων τάσης.
- Σύστημα υπομεταφοράς: Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερα μεγέθη και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης. Οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές συνήθως τροφοδοτούνται απευθείας από αυτό το σύστημα. Με την επέκταση του ΣΗΕ και την ανάγκη που προκύπτει από αυτήν για μεταφορά από υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς λειτουργούν κάτω από χαμηλότερα επίπεδα τάσης, γεγονός το οποίο δυσκολεύει τη διάκριση μεταξύ των δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.
- Σύστημα διανομής: Αποτελείται από τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης και χαμηλής τάσης, εντός των οποίων ανήκουν και οι υποσταθμοί διανομής μέσα από τους οποίους η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Μέσα από τα συγκεκριμένα δίκτυα τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια οι καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Τα συστήματα παραγωγής και μεταφοράς μπορούν να λειτουργήσουν απομονωμένα ή συνδεδεμένα με ένα ή περισσότερα γειτονικά συστήματα. Η

σύνδεση συνήθως γίνεται σε εθνικό επίπεδο, καθώς είναι συμφέρουσα από τεχνικής και οικονομικής απόψεως.

Τα τρία σημαντικότερα μεγέθη πάνω στα οποία σχεδιάζεται ένα ηλεκτρικό δίκτυο είναι τα εξής [2]:

- Τάση του δικτύου: Η μέγιστη τάση στην οποία λειτουργούν οι ηλεκτρικές γραμμές.
- Ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου: Η συμβατική ισχύς η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη αποδιδόμενη στο δίκτυο ισχύ στην περίπτωση κατά την οποία προκύψει τριφασικό βραχυκύκλωμα σε κάποιο σημείο του.
- Στάθμη μόνωσης του δικτύου: Αφορά την τιμή κρουστικής αντοχής του δικτύου, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής.

1.2. Το ελληνικό ΣΗΕ

Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς αποτελείται από το διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας και των συνδεδεμένων με αυτό νησιών, στα επίπεδα υψηλής τάσης 150 kV και 66 kV και υπερυψηλής τάσης 400 kV. Ο κορμός του αποτελείται από τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος 400 kV, οι οποίες αναλαμβάνουν τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, κατά κύριο λόγο από το σύστημα παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας, όπου παράγεται το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 70%). Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από εκεί στα σημαντικότερα κέντρα κατανάλωσης της κεντρικής και νοτίου Ελλάδος, όπου και σημειώνεται το 65% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Κατά το παρελθόν το σύστημα μεταφοράς αντιμετώπιζε σημαντικά προβλήματα, ιδιαιτέρως τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της άνισης γεωγραφικής κατανομής μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης. Πλέον τα συγκεκριμένα προβλήματα έχουν περιοριστεί, μέσα από την εισαγωγή νέων μονάδων παραγωγής στο νότιο σύστημα, την αξιοποίηση των πυκνωτών αντιστάθμισης και τη μείωση των φορτίων. Παρόλα αυτά, η Αττική και η Πελοπόννησος εξακολουθούν να είναι οι κρισιμότερες περιοχές του συστήματος όσον αφορά την ευστάθεια της τάσης [3].

Το σύστημα αποτελείται από τις παρακάτω συνιστώσες [4]:

Υποσταθμοί 150 kV/MT:

Μέχρι το τέλος του 2015 ήταν συνδεδεμένοι στο σύστημα:

- ❖ 202 υποσταθμοί υποβιβασμού 150 kV/MT, οι οποίοι εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του δικτύου διανομής, εκ των οποίων:
 - 188 περιλαμβάνουν τμήματα τα οποία βρίσκονται υπό την κυριότητα και διαχείριση του ΑΔΜΗΕ. Στους συγκεκριμένους περιλαμβάνονται και 21 υποσταθμοί στους οποίους είναι συνδεδεμένοι και μετασχηματιστές ανυψώσεως (16 συμβατικών σταθμών παραγωγής και 6 σταθμών ΑΠΕ) και

- 14 υποσταθμοί συνδεδεμένοι στην πλευρά 150 kV των κέντρων υπερευψηλής τάσης.
- 14 υποσταθμοί οι οποίοι εξυπηρετούν τις ανάγκες του δικτύου διανομής στην Αττική και ανήκουν αποκλειστικά στην αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ.
 - ❖ 16 υποσταθμοί υποβιβασμού 150 kV/MT της ΔΕΗ Α.Ε., από τους οποίους:
 - 4 εξυπηρετούν την τροφοδότηση των φορτίων ορυχείων. Ανάγκες ορυχείων εξυπηρετούνται και από τον Υ/Σ 1 της Πτολεμαΐδας, ο οποίος ανήκει στους 188 προαναφερθέντες Υ/Σ οι οποίοι εξυπηρετούν ανάγκες διανομής.
 - 1 Υ/Σ εξυπηρετεί τις ανάγκες άντλησης του ΥΗΣ Πολυφύτου.
 - ❖ 48 υποσταθμοί για την υποδοχή της ισχύος μονάδων ΑΠΕ, από τους οποίους οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου, Αργυρού, Λούρου, Σκάλας και Πύλου εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους προαναφερθέντες 48 υποσταθμούς ΑΠΕ).
 - ❖ 3 υποσταθμοί ανύψωσης σε θερμικούς σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών. Οι μονάδες παραγωγής των συγκεκριμένων σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης MT/150 kV.
 - ❖ 38 υποσταθμοί υποβιβασμού 150 kV/MT οι οποίοι εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις πελατών υψηλής τάσης, από τους οποίους οι Υ/Σ Αλουμινίου και ΜΟΤΟΡ ΟΪΛ εξυπηρετούν ταυτόχρονα και τη σύνδεση σταθμών παραγωγής (ο πρώτος συμπεριλαμβάνεται στους προαναφερθέντες 3 Υ/Σ ανυψώσεων συμβατικών σταθμών παραγωγής και ο δεύτερος στους 48 Υ/Σ ΑΠΕ).

Κέντρα υπερευψηλής τάσης:

Τα συγκεκριμένα κέντρα λειτουργούν ως σημεία διασύνδεσης των συστημάτων 400 kV και 150 kV και εξυπηρετούν ανάγκες οι οποίες σχετίζονται με την απομάστευση ισχύος από το σύστημα των 400 kV προς το σύστημα των 150 kV. Υπάρχουν 14 κέντρα υπερευψηλής τάσης τα οποία περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές τριών τυλιγμάτων 400 kV/150kV/30kV. Επίσης υπάρχουν 11 κέντρα υπερευψηλής τάσης (πέραν των προαναφερθέντων 14), τα οποία είναι εγκατεστημένα δίπλα από τους ομώνυμους σταθμούς παραγωγής και εξυπηρετούν ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το σύστημα 400 kV.

Γραμμές μεταφοράς:

Υπάρχουν γραμμές μεταφοράς υψηλής (66 και 150 kV) και υπερευψηλής (400 kV) τάσης διαφόρων ειδών. Επιπλέον έχουν εγκατασταθεί υπόγεια καλώδια 150 kV τα οποία μεταφέρουν ισχύ στις πυκνοκατοικημένες περιοχές της Αθήνας και ανήκουν στο δίκτυο 150 kV. Τα σχετικά στοιχεία παρατίθενται στον επόμενο πίνακα.

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΕΙΔΟΣ Γ.Μ.	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (km)
66	Εναέρειες	39
	Υποβρύχιες	15
150	Εναέρειες	8157
	Υπόγειες	161
	Υποβρύχιες	208
400	Εναέρειες	2647
	Υπόγειες	31
	Εναέρειες Σ.Ρ.	107
	Υποβρύχιες Σ.Ρ.	160 ⁶

Πίνακας 1.1 – Συνολικά μήκη γραμμών μεταφοράς του Ελληνικού ΣΗΕ [4]

Συσκευές αντιστάθμισης αέργου ισχύος

Οι ανάγκες της αντιστάθμισης αέργου ισχύος καλύπτονται μέσα από την εγκατάσταση στατών πυκνωτών και πηνίων. Για την τοπική στήριξη των τάσεων στους υποσταθμούς 150 kV/MT χρησιμοποιούνται στατοί πυκνωτές οι οποίοι εγκαθίστανται κατά βάση στους ζυγούς μέσης τάσης των υποσταθμών (συνολικής ισχύος περίπου 4150 MVA_r). Επίσης έχουν εγκατασταθεί συστοιχίες πυκνωτών 150 kV, συνολικής ισχύος 450 MVA_r σε υποσταθμούς και κέντρα υψηλής τάσης του συστήματος. Οι κατασκευαστικές υπηρεσίες του ΑΔΜΗΕ έχουν εγκαταστήσει και συστήματα αυτόματης ένταξης/απένταξης πυκνωτών σε βαθμίδες (3x4 MVA_r) σε υποσταθμούς μέσης και υψηλής τάσης.

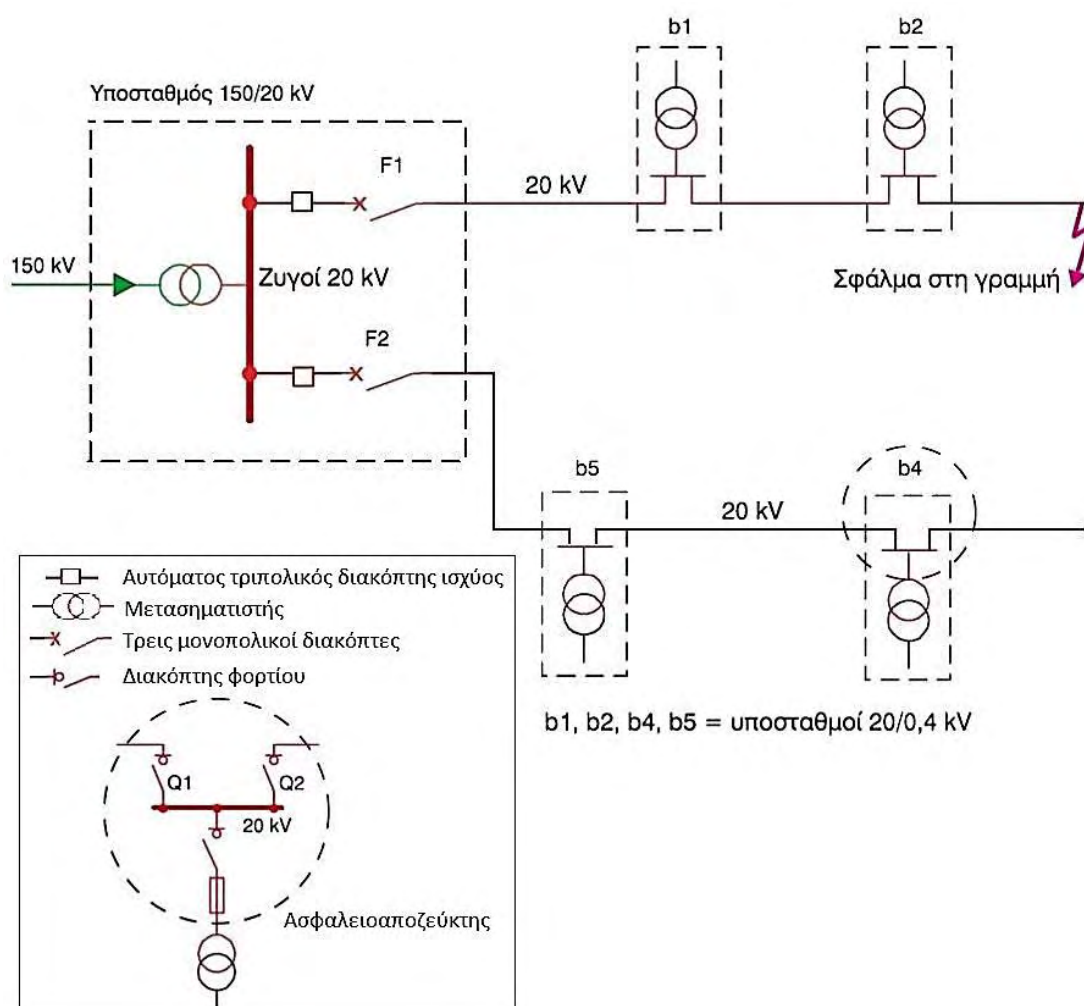
Επιπρόσθετα, έχουν εγκατασταθεί πηνία στην πλευρά 150 kV σε υποσταθμούς 150 kV/MT (εκείνους στους οποίους συνδέονται υποβρύχια καλώδια), όπως και στο τριτεύον τύλιγμα (πλευρά 30 kV) των ΑΜ/Σ των κέντρων υψηλής τάσης ούτως ώστε να αντιμετωπιστούν προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την εμφάνιση υψηλών τάσεων στις ώρες χαμηλού φορτίου.

Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από το δίκτυο μέσης τάσης και χαμηλής τάσης από τα κέντρα υπερυψηλής τάσης έως και τον τελικό καταναλωτή. Αποτελείται από τους υποσταθμούς μέσης τάσης των 20 kV/0,4 kV, τις εναέρειες γραμμές, τα καλώδια μέσης και χαμηλής τάσης και τον εξοπλισμό προστασίας και ελέγχου. Στο δίκτυο διανομής συνδέονται καταναλωτές μέσης (στα 20 kV) και χαμηλής (400 V – 230 V) τάσης.

Υπάρχουν δύο υποκατηγορίες συστημάτων μέσης τάσης, αναλόγως της δομής ή του τρόπου αξιοποίησής τους:

1. Ακτινικό Δίκτυο Διανομής (Radial Main Distribution System)

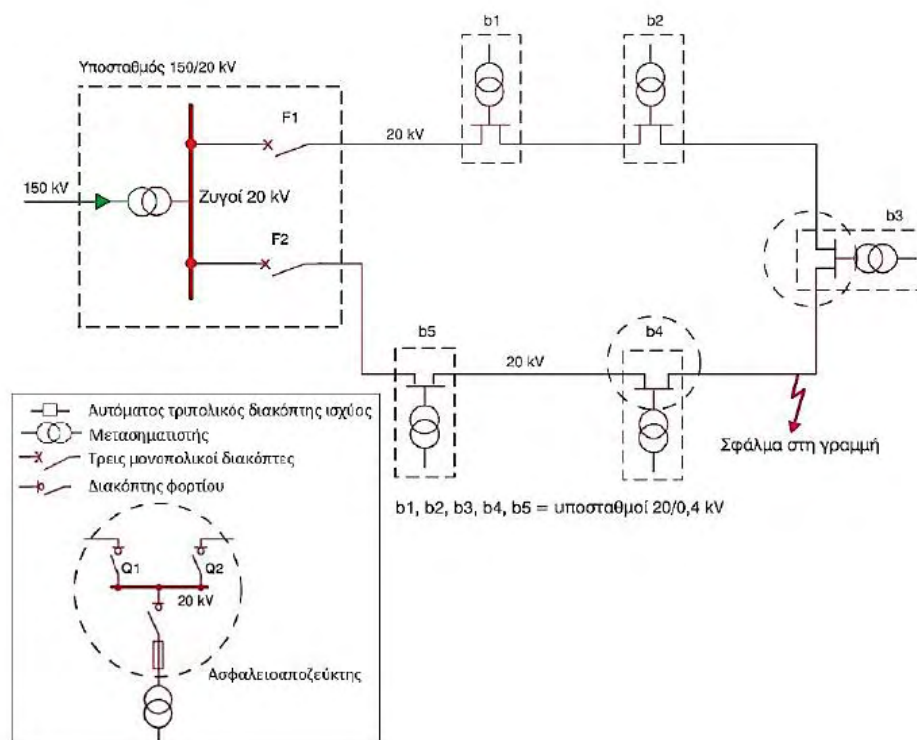
Στα δίκτυα διανομής του συγκεκριμένου τύπου οι γραμμές των 20 kV (οι οποίες συνήθως είναι εναέριες) ξεκινούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV και αναπτύσσονται ακτινικά, σύμφωνα με το Σχήμα 1.1. Κατά μήκος της κάθε γραμμής συνδέονται μετασχηματιστές 20/0,4 kV των δικτύων χαμηλής τάσης ή καταναλωτές μέσης τάσης. Το κύριο μειονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι ότι σε περίπτωση που προκύψει κάποιο σφάλμα κατά μήκος της γραμμής ο διακόπτης ισχύος F1 ανοίγει, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μείνουν χωρίς τάση όλοι οι μετασχηματιστές που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της γραμμής. Στην περίπτωση εγκαταστάσεων με ηλεκτρικά φορτία τα οποία δεν πρέπει να μείνουν εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα (όπως είναι τα νοσοκομεία, οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις ή τα ψυγεία) η απώλεια της μέσης τάσης αντισταθμίζεται μέσω ενός τοπικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (όπως είναι μία ντιζελογεννήτρια των 400 V), έως ότου να αποκατασταθεί η βλάβη. Τα συγκεκριμένα δίκτυα απαντώνται σπάνια στη μέση τάση, ενώ αποτελούν το σύνολο των δικτύων χαμηλής τάσης.



Σχήμα 1.1 – Ακτινικό δίκτυο διανομής

2. Βροχοειδές δίκτυο διανομής (Ring Main Distribution System)

Σε αυτά τα δίκτυα διανομής οι γραμμές των 20 kV (εναέριας ή υπόγειας) που αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV σχηματίζουν έναν κλειστό βρόχο ο οποίος καταλήγει σε ζυγούς των 20 kV του ίδιου ή άλλου υποσταθμού. Κατά μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές (b1, b2, b3, b4, b5 στο παρακάτω σχήμα). Οι δύο άκρες του βρόχου προστατεύονται με διακόπτες ισχύος F1, F2. Στην περίπτωση κατά την οποία προκύψει σφάλμα σε κάποιο σημείο του βρόχου ενεργοποιούνται οι προστασίες των διακοπών, οι διακόπτες ανοίγουν και δεν υπάρχει τάση στον βρόχο. Μετά τον εντοπισμό του σημείου του σφάλματος, ανοίγουν έπειτα από σχετική εντολή οι διακόπτες φορτίων (Q1 και Q2 στο επόμενο σχήμα) και απομονώνεται το τμήμα b3, b4. Στη συνέχεια οι διακόπτες κλείνουν ξανά και επανέρχεται η μέση τάση στο δίκτυο. Το δίκτυο λειτουργεί ως δύο ακτινικά δίκτυα έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη.



Σχήμα 1.2 – Βροχοειδές δίκτυο διανομής

1.3. Τα μειονεκτήματα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου

Τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής είναι ιδιαίτερος εκτεταμένα αλλά σε σχεδόν απόλυτο βαθμό παθητικά, χωρίς να έχουν ιδιαίτερες δυνατότητες επικοινωνίας, ενώ και ο έλεγχος τους είναι ελάχιστος και περιορίζεται τοπικά. Εκτός από τους πολύ μεγάλους καταναλωτές (για παράδειγμα οι μεταλλουργίες ή τα χυτήρια αλουμινίου) δεν υπάρχει καμία δυνατότητα εποπτείας της τάσης ή του ρεύματος ενός φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Η όλη αλληλεπίδραση μεταξύ

φορτίων και συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζεται απλά στη διασφάλιση της κάλυψης των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών.

Η λειτουργία του παραδοσιακού συστήματος θεωρείται μη αποδοτική, ανελαστική και δαπανηρή. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις των τηλεπικοινωνιών και του διαδικτύου δίνουν δυνατότητες για μία πολύ αποτελεσματικότερη εποπτεία και έναν πολύ καλύτερο έλεγχο των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ευελιξίας τους, καθώς και στην εξοικονόμηση οικονομικών πόρων [5].

Τα περισσότερα παραδοσιακά συστήματα υιοθετούν το μοντέλο της συγκεντρωτικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από μεγάλες μονάδες και μεταφέρεται στους καταναλωτές μέσα από τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρουσιάζει υπερβολικά υψηλά λειτουργικά έξοδα. Οι μονάδες της συγκεντρωτικής παραγωγής πρέπει άνα πάσα στιγμή να καλύπτουν τη συνολική ενεργειακή ζήτηση, γεγονός το οποίο οδηγεί σε [1], [2]:

- Πολύ μεγάλα έξοδα για δημιουργία νέων μονάδων ή αναβάθμιση των υπάρχοντων. Η εγκατάσταση μίας μεγάλης μονάδας (άνω των 500 MW) πρέπει να εντάσσεται στον μακροχρόνιο δημόσιο ενεργειακό προγραμματισμό, από τη στιγμή που απαιτεί την επένδυση σημαντικών κεφαλαίων (ιδιωτικών και δημοσίων), ενώ ο κατασκευαστικός της χρόνος ανέρχεται σε 5 έτη.
- Λειτουργία των μονάδων σε χαμηλότερη ισχύ από την ονομαστική τους (περίπου στο 90%). Η υψηλή εφεδρεία οφείλεται σε αίτια που σχετίζονται με την κάλυψη πιθανής στιγμιαίας αύξησης της ζήτησης ή απότομης μείωσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ. Με το συγκεκριμένο πλαίσιο λειτουργίας σημειώνεται μία απώλεια καυσίμων, διότι η βέλτιστη απόδοση της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου σημειώνεται στο επίπεδο της ονομαστικής ισχύος των γεννητριών.

Το σύστημα μεταφοράς εξαπλώνεται σε μεγάλες εκτάσεις, για την κάλυψη των οποίων απαιτούνται γραμμές μήκους πολλών χιλιομέτρων. Το συγκεκριμένο γεγονός οδηγεί στις εξής συνέπειες [1], [2]:

- Υψηλά έξοδα εξοπλισμού υψηλής και υπερυψηλής τάσης (για παράδειγμα, γραμμές, μετασχηματιστές, μονωτήρες, ηλεκτρονικά ισχύος). Το σύστημα μεταφοράς πρέπει να λειτουργεί σε επίπεδα υψηλής και υπερυψηλής τάσης ούτως ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες μεταφοράς.
- Υψηλές θερμικές απώλειες. Παρά τη λειτουργία σε επίπεδα υψηλής και υπερυψηλής τάσης δεν αποφεύγονται οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας σε τόσο μεγάλες γραμμές μεταφοράς. Στην περίπτωση κατά την οποία έχουμε αυξημένη ροή ηλεκτρικής ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς, αυξάνονται σε σημαντικό βαθμό οι θερμικές απώλειες λόγω της αυξημένης έντασης του ρεύματος.

- Αυξημένα έξοδα επέκτασης και συντήρησης του δικτύου καθώς και αποκατάστασης βλαβών. Οι γραμμές του συστήματος μεταφοράς κατά κύριο λόγο διέρχονται από δύσβατες περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει αναπτυγμένο οδικό δίκτυο. Η επέκταση πρέπει να σχεδιαστεί εντός των πλαισίων ενός μακροχρόνιου ενεργειακού σχεδιασμού, ενώ η κατασκευή και η συντήρηση του απαιτούν ειδικό εξοπλισμό και περιλαμβάνουν σημαντικά έξοδα. Επιπρόσθετα, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων εποπτείας είναι δύσκολος και ακριβός ο ακριβής εντοπισμός και η αποκατάσταση μίας βλάβης.

Για τη μελέτη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται η μέθοδος της Ανάλυσης Ροής Φορτίου. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει (κατά μέτρο και γωνία) τις άγνωστες τάσεις των ζυγών και τις άγνωστες ροές ισχύος στις γραμμές του συστήματος ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί μία συγκεκριμένη εκλογή ισχύος παραγωγής, τάσεων γεννητριών και φορτίων στους ζυγούς. Οι συγκεκριμένες μελέτες είναι ιδιαιτέρως χρήσιμες λόγω των παρακάτω αιτιών [2], [6]:

- Της επιλογής του οικονομικότερου σημείου λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος.
- Της διατήρησης των τάσεων των ζυγών και των ροών στις γραμμές μέσα στα προκαθορισμένα όρια λειτουργίας τους.
- Των μελετών επεκτάσεως του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς.

Κύριο μειονέκτημα στη συγκεκριμένη προσέγγιση είναι το γεγονός του ότι για την ανάλυση ροής φορτίου των υποδικτύων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται ένας ζυγός αναφοράς, ο οποίος επί της ουσίας αντιπροσωπεύει το σημείο σύνδεσης του εξεταζόμενου υποδικτύου με το υπόλοιπο σύστημα, ενώ λειτουργεί ως ρυθμιστής. Πρέπει να διατηρεί το μέτρο και τη γωνία της τάσης σταθερά, καθώς και να εγγχεί ή απορροφά την απαιτούμενη ισχύ για την παραμονή του υποδικτύου εντός των ορίων ευσταθείας. Οι ζυγοί αναφοράς των υποδικτύων συνήθως συνδέονται με το σύστημα μεταφοράς ή τα ανώτερα επίπεδα των δικτύων διανομής. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ότι το σύστημα μεταφοράς και ένα μέρος των δικτύων διανομής είναι άνα πάσα στιγμή επιφορτισμένα με το να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των υποδικτύων (τα οποία παρουσιάζουν στοχαστική συμπεριφορά) καθώς και να διατηρούν τα επίπεδα τάσης και συχνότητας μέσα στα όρια των προδιαγραφών.

Η στοχαστική και ανελαστική συμπεριφορά της ζήτησης, σε συνδυασμό με την ανεξέλεγκτη παραγωγή εντός των δικτύων διανομής (για παράδειγμα, βιομηχανικές γεννήτριες, ΑΠΕ) θέτουν στο επίκεντρο τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και των μεγάλων μονάδων παραγωγής ως καθοριστικών παραγόντων διατήρησης της ευστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για να διασφαλιστεί όμως η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται συνεχώς νέες επενδύσεις. Επίσης δεν δίνεται η δυνατότητα περιορισμού των απωλειών της μεταφοράς λόγω των μεγάλων ροών ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλες αποστάσεις, ενώ προκαλείται και υπερκατανάλωση καυσίμου στις μονάδες παραγωγής.

Κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1990 έκανε την εμφάνιση της μία νέα προσέγγιση η οποία εμπλέκει τη σύνδεση μικρών μονάδων παραγωγής απευθείας στο δίκτυο διανομής. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ονομάζεται Διεσπαρμένη Παραγωγή. Θεωρείται ότι μπορεί να δώσει μία λύση στα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η συγκεντρωτική παραγωγή. Η ισχύς της βρίσκεται μεταξύ 1 KW και 100 MW ανά εγκατάσταση. Οι εγκαταστάσεις που περιλαμβάνει αποτελούνται από μονάδες ΑΠΕ καθώς και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας [7].

Το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή κατανάλωσης έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των απωλειών και του κόστους μεταφοράς, οδηγώντας σε εξοικονόμηση πάνω από 30% στο συνολικό κόστος παροχής.
- Αποσυμφορούνται τα υπάρχοντα δίκτυα.
- Καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, γεγονός το οποίο συμβάλλει στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.
- Ευνοεί τους καταναλωτές οι οποίοι έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής, καθώς και εκείνους οι οποίοι έχουν πρόσβαση σε οικονομικά καύσιμα (όπως είναι το φυσικό αέριο), αλλά και εκείνους οι οποίοι ζουν σε περιοχές στις οποίες είναι δυνατή η αξιοποίηση των ΑΠΕ.
- Η ευρεία αξιοποίηση των ΑΠΕ έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων καθώς και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και άλλων επιβλαβών εκπομπών (για παράδειγμα, οξείδια του θείου και του αζώτου) συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Υποστηρίζονται διάφορες τεχνολογίες, ανάμεσα τους και ανανεώσιμες τεχνολογίες οι οποίες παρέχουν ηλεκτρική ισχύ μικρής κλίμακας σε τοποθεσίες κοντά στην κατανάλωση. Μέσω των συγκεκριμένων τεχνολογιών δημιουργούνται νέες προοπτικές στην ενεργειακή αγορά, καθώς και αύξηση του βιομηχανικού ανταγωνισμού.
- Η εύρεση θέσεων εγκατάστασης για ΑΠΕ και μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής είναι ευκολότερη σε σχέση με τα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγκεκριμένες μονάδες επίσης συνδέονται ευκολότερα και ταχύτερα στο δίκτυο.

Μέχρι σήμερα η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα εξαπλωμένη λόγω του ότι υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί σχετικά με τις προδιαγραφές της ευστάθειας των συστημάτων και την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας.

Προκειμένου το δίκτυο να λειτουργεί ομαλά υπάρχουν ορισμένες προδιαγραφές σχετικά με τη σύνδεση μίας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό. Οι συγκεκριμένες προδιαγραφές είναι οι εξής [8]:

- **Επάρκεια των στοιχείων του δικτύου:** Τα στοιχεία του δικτύου πρέπει να βρίσκονται σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες λειτουργίας και προστασίας του δικτύου και της εγκατάστασης. Τα βασικά στοιχεία είναι ο υποσταθμός της εγκατάστασης, οι μετασχηματιστές, οι γραμμές του δικτύου και τα μέσα ζεύξης και προστασίας.
- **Συμβολή στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του σημείου σύνδεσης:** Η ισχύς μίας μονάδας παραγωγής επιδρά στην ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου και επομένως στα ρεύματα βραχυκύκλωσης τα οποία προκύπτουν σε ενδεχόμενες βλάβες του δικτύου.
- **Αργές μεταβολές της τάσης:** Υπό τον όρο αυτό εννοούνται οι μεταβολές της τάσης μόνιμης κατάστασης του δικτύου οι οποίες υπολογίζονται από τη διακύμανση του μέσου όρου της τάσης σε διάστημα 10 λεπτών από την ονομαστική τιμή της τάσης. Οι συγκεκριμένες μεταβολές προκύπτουν είτε λόγω αντίστοιχων διακυμάνσεων της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής είτε λόγω μεταβολών του φορτίου του δικτύου.
- **Ταχείες μεταβολές της τάσης:** Υπό τον όρο αυτό εννοούνται οι διάφορες μεταβολές της τάσης στις οποίες παρατηρούνται χρονικές κλίμακες έως και ορισμένα δευτερόλεπτα. Οφείλονται σε εργασίες που διεξάγονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής (για παράδειγμα, ζεύξη – απόζευξη, αλλαγή γεννητριών), αλλά και στη μεταβλητότητα της ισχύος εξόδου.
- **Εκπομπές flicker:** Οφείλονται στη διακύμανση της φωτεινότητας στους λαμπτήρες πυράκτωσης. Δημιουργούνται λόγω διακυμάνσεων στην τάση οι οποίες προκαλούνται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριότερη πηγή των εκπομπών αυτών είναι οι ανεμογεννήτριες.
- **Αρμονικές συνιστώσες τάσης και ρεύματος:** Η τάση και το ρεύμα του δικτύου σημειώνουν μία απόκλιση σε σχέση με την ιδανική καθαρά ημιτονοειδή κυματομορφή. Οι εξάρσεις και βυθίσεις που σημειώνονται στις κυματομορφές προσδίδουν πριονωτή μορφή, ενώ αποτελούν μικρές κυματομορφές με αρμονικές συχνότητες πολλαπλάσιες της θεμελιώδους συχνότητας της τάσης και του ρεύματος και των οποίων είναι δυνατός ο εντοπισμός και η ανάλυση. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και τα μη γραμμικά κυκλώματα δημιουργούν αρμονικές συνιστώσες οι οποίες πρέπει να καταπιέζονται.

Ακόμα και εάν τηρούνται οι συγκεκριμένες προδιαγραφές, ενδέχεται να δημιουργηθούν διάφορα σημαντικά προβλήματα από τη σύνδεση των μονάδων παραγωγής στο δίκτυο διανομής. Τα συγκεκριμένα προβλήματα οφείλονται στη μορφή του δικτύου, το οποίο συνήθως είναι ακτινικό ή βροχοειδές το οποίο λειτουργεί ως ακτινικό και συνεπώς η ροή ισχύος είναι προς μία κατεύθυνση. Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα είναι η αδυναμία του διαχειριστή του δικτύου να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τη ροή ενέργειας στο δίκτυο διανομής.

Τα κυριότερα προβλήματα που προκύπτουν είναι τα εξής [5], [8]:

- Υπερτάσεις σε περιπτώσεις χαμηλών εξυπηρετούμενων φορτίων, γεγονός το οποίο απαιτεί συντονισμένη λειτουργία των μονάδων και ειδικό εξοπλισμό, όπως είναι οι μετασχηματιστές μεταβλητού λόγου σχηματισμού για τον συνεχή έλεγχο της τάσης.
- Μεταβολές της συχνότητας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη συχνότητα εξαρτάται από το ισοζύγιο παραγωγής – κατανάλωσης. Η οποιαδήποτε απόκλιση από τη συγκεκριμένη ισορροπία οδηγεί είτε σε απόκλιση από την επιθυμητή συχνότητα του ευρωπαϊκού δικτύου (50 Hz) είτε σε υψηλή ροή ισχύος στη γραμμή σύνδεσης του τοπικού δικτύου με τα γειτονικά του, η οποία και καταπονεί τον εξοπλισμό του δικτύου διανομής.

Το κυριότερο μέρος της διεσπαρμένης παραγωγής σχετίζεται με τις ΑΠΕ. Η διείσδυση όμως των ΑΠΕ περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα λόγω των παρακάτω αιτιών:

- Μειωμένη δυνατότητα βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης της παραγωγής των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών. Λόγω της στοχαστικότητας των καιρικών φαινομένων σημειώνεται και μεταβαλλόμενη ισχύς εξόδου στις εγκαταστάσεις. Επομένως είναι δύσκολο να προγραμματιστεί από τον διαχειριστή η παραγωγή σε βραχυπρόθεσμη βάση.
- Οι μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις δεν είναι ευέλικτες σε ό,τι αφορά την παραγωγή τους. Παρουσιάζουν χρονικό διάστημα έναρξης της τάξεως των 5 ωρών, ενώ μετά την εκκίνηση τους δεν είναι δυνατή η λειτουργία τους σε ποσοστό χαμηλότερο του 50% – 65% της ονομαστικής τους ισχύος.
- Ορισμένοι παραγωγοί έχουν συμφωνήσει εκ των προτέρων σε μία εγγυημένη απορρόφηση της παραγωγής τους (για παράδειγμα, μονάδες φυσικού αερίου). Το γεγονός αυτό λειτουργεί ανασταλτικά στη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή.

Προκειμένου να αυξηθεί η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαία η εισαγωγή εποπτείας και ελέγχου στο δίκτυο διανομής, ούτως ώστε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα ευστάθειας που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Τα δίκτυα διανομής σήμερα χαρακτηρίζονται από έναν παθητικό τρόπο λειτουργίας, ένα χαμηλό επίπεδο αυτοματισμού και μειωμένες δυνατότητες κεντρικής διαχείρισης. Επίσης, έχει ιδιαίτερη σημασία η αύξηση της ευελιξίας στην παραγωγή, αλλά και η εισαγωγή ευελιξίας στη ζήτηση ούτως ώστε να καταστεί δυνατός ο δυναμικός έλεγχος του ισοζυγίου παραγωγής και ζήτησης, ο οποίος έχει ιδιαίτερη σημασία για την ευστάθεια και την αξιοπιστία του δικτύου. Η ευελιξία της παραγωγής θα μπορούσε να αυξηθεί μέσα από την εισαγωγή συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και μικρών μονάδων παραγωγής οι οποίες μπορούν να παρέχουν σταθερή ισχύ (για παράδειγμα, γεννήτριες βιοκαυσίμων) ούτως ώστε να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης στη ζήτηση. Οι συγκεκριμένες γεννήτριες θα πρέπει να λειτουργούν στο 70% - 80% της

ονομαστικής τους ισχύος, ούτως ώστε να βρίσκονται σε θέση να παρέχουν άμεσα την επιπρόσθετη ισχύ.

Οι παραπάνω λύσεις όμως είναι ασύμφωρες από οικονομικής απόψεως. Η σύγχρονη προσέγγιση των διαχειριστών των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την αξιοποίηση μεθόδων μέσα από τις οποίες ελέγχεται πέραν της παραγωγής και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σύγχρονες τάσεις εξηλεκτρισμού ακόμα περισσότερων τομέων κατανάλωσης ενέργειας (όπως είναι οι τομείς της θέρμανσης και των μεταφορών) οδηγούν σε αύξηση της ευελιξίας των φορτίων, ενώ καθιστούν δυνατό τον έλεγχο ενός μεγαλύτερου μέρους της ζήτησης. Μέσα από τη μετατροπή ενός μέρους της ζήτησης από ανελαστική σε ευέλικτη γίνεται δυνατή η διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να απαιτείται η εφεδρεία μέσω γεννητριών και χωρίς να είναι αναγκαία η ενίσχυση του εξοπλισμού των δικτύων.

2. Ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Ορισμός

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Power Research Institute – EPRI) το ευφύές δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται ως «μία ευφυής υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία υποστηρίζεται από τις πλέον σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών, υπολογισμού και ηλεκτρονικής ούτως ώστε να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας της κοινωνίας». Το Γραφείο Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ ορίζει το ευφύές δίκτυο ως μία λύση η οποία διασφαλίζει «την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος μέσα από την ανταλλαγή πληροφοριών, της κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης της ενέργειας». Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει το ευφύές δίκτυο ως «ένα εξελιγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, του οποίου αναπόσπαστο στοιχείο είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή και τα ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του» [9]. Η Ομάδα Εργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα Ευφυή Δίκτυα (European Commission Task Force for Smart Grid) ορίζει το ευφύές δίκτυο ως «ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο ενσωματώνει αποδοτικά τις συμπεριφορές και τις δράσεις όλων των συνδεδεμένων σε αυτό παραγόντων – παραγωγών, καταναλωτών και καταναλωτών οι οποίοι παράγουν ενέργεια – ούτως ώστε να διασφαλιστεί ένα οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο ενεργειακό σύστημα με χαμηλές απώλειες και ποιοτικές υπηρεσίες, σε ένα ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο» [10].

Επί της ουσίας, το έξυπνο δίκτυο είναι η εξέλιξη των παραδοσιακών ηλεκτρικών δικτύων σε δίκτυα στα οποία οι τεχνολογίες πληροφοριών βρίσκονται στο επίκεντρο. Μέσω των συγκεκριμένων τεχνολογιών επιτρέπεται ο απομακρυσμένος έλεγχος όλων των σταδίων από την παραγωγή της ενέργειας έως και την κατανάλωση της, η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης (και η δυνατότητα συμμετοχής του καταναλωτή στην παραγωγή, η διασφάλιση της βιωσιμότητας και ποιότητας των υπηρεσιών, η κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η τοπική επεξεργασία των πληροφοριών, η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και η έξυπνη μέτρηση των καταναλώσεων. Ο βασικός στόχος των σχετικών υλοποιήσεων είναι η διασφάλιση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας του δικτύου.

Η **αξιοπιστία** του δικτύου επιτυγχάνεται μέσα από έναν σχεδιασμό ο οποίος επιτρέπει την ανίχνευση των αιτιών των βλαβών και την επίλυση τους, ενώ παράλληλα βρίσκεται σε θέση να εντοπίσει εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας στην περίπτωση κατά την οποία οι υπάρχουσες δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τη ζήτηση. Με τον συγκεκριμένο σχεδιασμό μειώνονται οι πιθανότητες των blackouts, τα οποία δημιουργούν σημαντικά προβλήματα τόσο από οικονομικής όσο και από κοινωνικής απόψεως.

Η **αποδοτικότητα** επιτυγχάνεται μέσα από την αξιοποίηση εναλλακτικών ενεργειακών μορφών για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής – μεταφοράς και διάδοσης ενέργειας, καθώς και μέσα από την εμπλοκή του πελάτη στη διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσα από ευέλικτες υλοποιήσεις ζήτησης και απόκρισης.

Η **ασφάλεια** επιτυγχάνεται μέσα από την υλοποίηση ενός προσεγγμένου συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης της διαδικασίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [11].

2.2 Οφέλη των ευφυών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με αναφορές του τμήματος εμπορίου του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογιών (National Institute of Standards and Technology – NIST) των ΗΠΑ και της Συντονιστικής Επιτροπής Έξυπνων Δικτύων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Smart Grid Coordination Group – SG – CG) τα κυριότερα οφέλη που προκύπτουν από ένα ευφύες δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα παρακάτω [12], [13]:

- Βελτιωμένη αξιοπιστία και ποιότητα υπηρεσιών λόγω της υιοθέτησης του καταναμημένου μοντέλου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Βελτίωση της αξιοποίησης των υφιστάμενων υποδομών καθώς και εναλλακτικών μορφών ενέργειας, ούτως ώστε πλέον να μην απαιτείται η χρήση επιβλαβών προς το περιβάλλον παλαιάς τεχνολογίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης.
- Ευέλικτος σχεδιασμός ο οποίος δίδει στο σύστημα τη δυνατότητα ανίχνευσης και επίλυσης των αιτιών των βλαβών.
- Συμβολή στην περιβαλλοντική προστασία μέσα από την αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, γεγονός το οποίο οδηγεί στη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών.
- Συμμετοχή των καταναλωτών στις προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας, μέσα από προγράμματα ζήτησης και προσφοράς καθώς και δυναμικής τιμολόγησης της κιλοβατώρας βάσει της ώρας ζήτησης.
- Βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης της ζήτησης χάρη στους έξυπνους μετρητές οι οποίοι δίδουν τη δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων (γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σπατάλης ενέργειας καθώς και του κινδύνου διακοπών).

2.3. Η δομή των ευφυών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα ευφύες δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαχωριστεί σε επτά τομείς οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και καθένας εκ των οποίων περιλαμβάνει μία ή περισσότερες συσκευές, συστήματα ή προγράμματα (για παράδειγμα, έξυπνους μετρητές, συστήματα SCADA κλπ.) τα οποία διεκπεραιώνουν διαδικασίες ανταλλαγής πληροφοριών και λήψης αποφάσεων ούτως ώστε το

δίκτυο να λειτουργεί εύρυθμα. Οι συγκεκριμένοι τομείς είναι οι πελάτες, οι αγορές, οι πάροχοι υπηρεσιών, οι λειτουργίες, η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή. Η όλη δομή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1, ενώ τα συστατικά της στοιχεία αναλύονται παρακάτω [13].

Πελάτες: Αποτελούνται από τους καταναλωτές και τις συσκευές παραγωγής, αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας που βρίσκονται υπό την κατοχή τους. Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες πελατών: οι πελάτες του δικτύου, οι οποίοι επιθυμούν να πραγματοποιήσουν οικιακή χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, εκείνοι που επιθυμούν να πραγματοποιήσουν εμπορική χρήση, καθώς και εκείνοι που πραγματοποιούν βιομηχανική χρήση.

Αγορές: Αποτελούνται από τους λειτουργούς και τους συμμετέχοντες στην ενεργειακή αγορά.

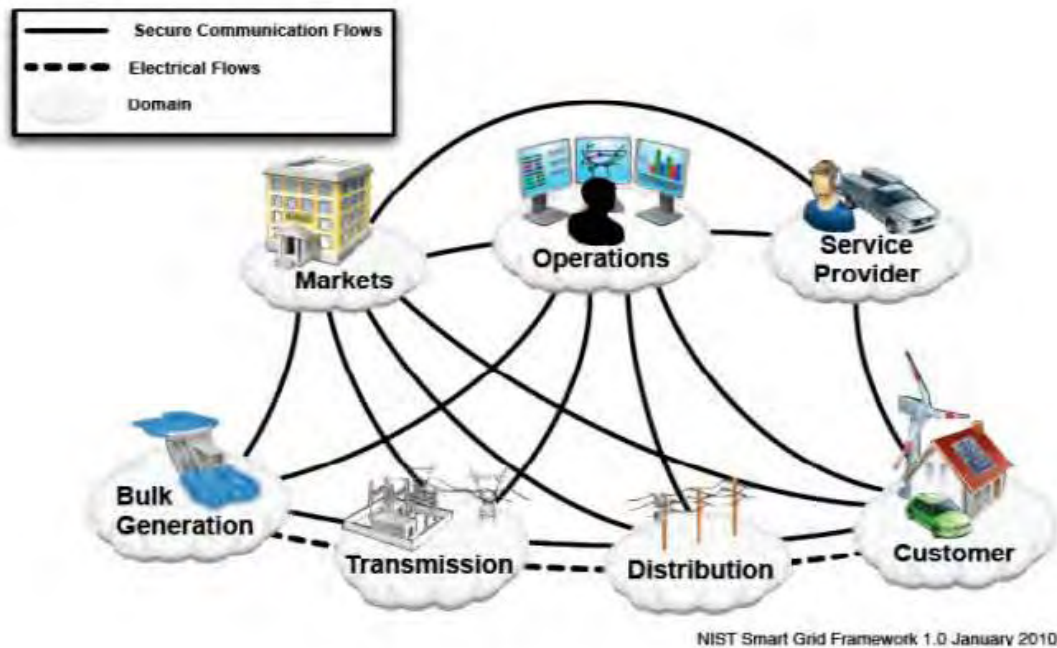
Πάροχοι υπηρεσιών: Αποτελούνται από οργανισμούς οι οποίοι έχουν ως αντικείμενο τους την παροχή υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε πελάτες όσο και σε παρόχους άλλων υπηρεσιών.

Λειτουργίες: Αφορά τους διαχειριστές της διακίνησης της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των δικτύων.

Παραγωγή: Αποτελείται από τις γεννήτριες και τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι παράγουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας καθώς και τις μονάδες αποθήκευσης της ενέργειας.

Μεταφορά: Αποτελείται από τις υποδομές μεταφοράς της ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις. Ενδέχεται να περιλαμβάνει και τοπικά μέσα παραγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας.

Διανομή: Αποτελείται από τις υποδομές της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τους πελάτες, ενώ ενδέχεται εντός του πεδίου της να εμπίπτει και η αποθήκευση και παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 2.1 – Η αρχιτεκτονική ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Τα συστατικά στοιχεία που αποτελούν τον κάθε τομέα αποσκοπούν στην εκπλήρωση ορισμένων κοινών στόχων και συνεργάζονται τόσο μεταξύ τους όσο και με συστατικά στοιχεία άλλων τομέων ούτως ώστε να τους επιτύχουν. Η δομή που παρουσιάστηκε προηγουμένως δεν έχει απόλυτη μορφή, καθώς συχνά ένα συστατικό στοιχείο ενός τομέα ενδέχεται να επιτελεί λειτουργίες οι οποίες βασίζονται σε πληροφορίες που προέρχονται από άλλους τομείς (για παράδειγμα, το δίκτυο διανομής σχετίζεται τόσο με τον τομέα διανομής όσο και με τον τομέα λειτουργιών, στον οποίο ανήκουν τα συστήματα διαχείρισης δικτύων διανομής).

2.4. Μετάδοση δεδομένων στο ευφυές δίκτυο

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διαχωριστούν σε τρία κύρια επίπεδα, αναλόγως της γεωγραφικής τους κάλυψης και των αναγκών που εξυπηρετούν. Τα δίκτυα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω [14]:

- Home Area Network (HAN):

Τα συγκεκριμένα δίκτυα βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο επικοινωνίας, ενώ αφορούν τη σύνδεση ενεργειακών συσκευών εντός της οικίας. Καθιστούν δυνατή την παρακολούθηση και τον έλεγχο των οικιακών ενεργειακών καταναλώσεων, καθώς και την εφαρμογή σύγχρονων λειτουργιών, όπως είναι η απόκριση στη ζήτηση, καθώς και την υλοποίηση σύγχρονων υποδομών, όπως είναι η Advanced Metering Infrastructure (AMI). Οι αντίστοιχες εφαρμογές για επιχειρήσεις είναι τα Business Area Networks (BANs) και για τη βιομηχανία τα Industrial Area Networks (IANs). Η επικοινωνία στα συγκεκριμένα δίκτυα διεξάγεται σε χαμηλό εύρος ζώνης,

αλλά πρέπει να είναι τακτική και αδιάλειπτη μεταξύ των συσκευών και του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Διαχωρίζονται σε ασύρματα, ενσύρματα χωρίς πρόσθετη καλωδίωση και ενσύρματα με πρόσθετη καλωδίωση, ενώ είναι δυνατοί και συνδυασμοί των παραπάνω. Τα δύο επικρατέστερα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας είναι το WiFi και το ZigBee. Όσον αφορά την ενσύρματη επικοινωνία με νέα καλωδίωση, το πλέον διαδεδομένο πρωτόκολλο είναι το Ethernet, ενώ στην ενσύρματη επικοινωνία η οποία χρησιμοποιεί την υπάρχουσα καλωδίωση του ηλεκτρικού δικτύου συνήθως χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο PLC [14].

- Neighborhood Area Network (NAN):

Το συγκεκριμένο δίκτυο επιτελεί τον ρόλο της διεκπεραίωσης της ενδιάμεσης επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων μετρητών κατανάλωσης ενέργειας και των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από και προς τους προμηθευτές. Επίσης διεκπεραιώνει τις λειτουργίες επικοινωνίας μεταξύ των εφαρμογών εποπτείας και ελέγχου του δικτύου διανομής. Τα συγκεκριμένα δίκτυα ξεκινούν από τις θύρες εξόδου των HANs και καταλήγουν στους συλλέκτες και τους απομαστευτές δεδομένων οι οποίοι βρίσκονται στους υποσταθμούς μέσης – χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής. Για την επικοινωνία στο συγκεκριμένο επίπεδο αξιοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα, είτε ασύρματα είτε ενσύρματα. Στην ασύρματη επικοινωνία τα πλέον διαδεδομένα είναι τα πρωτόκολλα IEEE 802 (για παράδειγμα, WiMAX), καθώς και οι εφαρμογές της κινητής τηλεφωνίας (για παράδειγμα, GPRS, EDGE, UMTS, LTE), ενώ στην ενσύρματη επικοινωνία χρησιμοποιούνται κυρίως ευρυζωνικές τεχνολογίες μέσω τηλεφωνικών γραμμών (DSL), καθώς και τεχνολογίες PLC [15].

- Wide Area Network (WAN):

Τα συγκεκριμένα δίκτυα αφορούν την επικοινωνία στο επίπεδο του κορμού. Καλύπτουν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή, ενώ φιλοξενούν τερματικούς σταθμούς και τοπικά δίκτυα. Αποτελούν το υπόβαθρο της τηλεπικοινωνιακής υποδομής ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Διακινούν τις πληροφορίες στο σύστημα μεταφοράς και το δίκτυο διανομής, συνδέοντας τους υποσταθμούς, τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και τον αυτοματοποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του δικτύου διανομής, όπως είναι οι μετασχηματιστές, οι αντισταθμιστές αέργου ισχύος και οι διακόπτες ισχύος. Λόγω των δυνατοτήτων αμφίδρομης επικοινωνίας που έχουν, είναι δυνατή η εφαρμογή αυτοματισμού της διανομής (Distribution Automation) καθώς και απεικόνισης της ποιότητας ισχύος (Power Quality Monitoring) από τους διαχειριστές των δικτύων [15].

2.5. Ζητήματα που χρήζουν αντιμετώπισης

Τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας του μέλλοντος αναμένεται να αντιμετωπίσουν τα επόμενα ζητήματα [16]:

- **Περιβαλλοντικά ζητήματα:** Πρέπει να πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις στον παραδοσιακό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μέσα από αυτόν προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών CO₂ και ως εκ τούτου επιδρά στην κλιματική αλλαγή. Επίσης οι ειδικοί έχουν προβλέψει ότι τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων δεν θα επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών στο μέλλον. Διάφορα καιρικά φαινόμενα όπως είναι οι θύελλες, οι σεισμοί και οι τυφώνες μπορούν να προξενήσουν σοβαρές καταστροφές στο δίκτυο μεταφοράς. Επίσης πλέον έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό οι διαθέσιμες εκτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις του.
- **Ζητήματα εξυπηρέτησης των καταναλωτών και της αγοράς:** Είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ολοκληρωμένων τεχνολογιών για τη λειτουργία του συστήματος και πολιτικών για τη λειτουργία της ενεργειακής αγοράς, ούτως ώστε να στηριχθεί η διαφάνεια και η ελευθερία σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Θα πρέπει να παρέχεται στους καταναλωτές ένας υψηλός λόγος ποιότητας και τιμής καθώς και η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το δίκτυο, ούτως ώστε να μείνουν ικανοποιημένοι από τις παρεχόμενες υπηρεσίες.
- **Ζητήματα που σχετίζονται με τις υποδομές των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας:** Το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς περιέχει ορισμένες συνιστώσες οι οποίες διαβρώνονται γρήγορα από τον χρόνο. Λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων ηλεκτρικού φορτίου αυξάνεται και η συμφόρηση του δικτύου. Τα εργαλεία online ανάλυσης, η παρακολούθηση ευρείας ζώνης, οι μετρήσεις, ο έλεγχος, καθώς και η γρήγορη και ακριβής προστασία θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.
- **Ζητήματα που σχετίζονται με την εισαγωγή των νέων τεχνολογιών στο δίκτυο:** Οι σύγχρονες τεχνολογίες (νέα υλικά, προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος και τεχνολογιών επικοινωνιών) ακόμα είτε δεν έχουν εξελιχθεί επαρκώς είτε δεν είναι εμπορικά διαθέσιμες ούτως ώστε να εφαρμοστούν πλήρως στα δίκτυα μεταφοράς.

2.6. Χαρακτηριστικά των ευφυών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα αναλυθούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά διασυνδέονται μεταξύ τους με μία στενή σχέση αιτίας και αποτελέσματος, ενώ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού οποιουδήποτε ευφυούς δικτύου [17].



Σχήμα 2.2 – Χαρακτηριστικά ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Αξιοπιστία και ευστάθεια: Υπό τον όρο της αξιοπιστίας εννοείται η δυνατότητα του δικτύου και των συνιστωσών του να διεκπεραιώνουν τις απαιτούμενες εργασίες υπό δεδομένες συνθήκες σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Γενικά, αποτελεί ένα μέσο ερμηνείας της λειτουργικής υγείας και του βαθμού μεταβλητότητας του συστήματος. Επίσης, παρουσιάζει τη συνοχή, επαναληψιμότητα και φερεγγυότητα που εκτιμάται ότι θα διατηρήσει το δίκτυο. Απαιτούνται χαμηλές πιθανότητες βλαβών, οι οποίες όταν συμβαίνουν θα έχουν τη χαμηλότερη δυνατή επίπτωση στο συνολικό σύστημα, ενώ το στοιχείο που έχει πρόβλημα θα αντικαθίσταται ή θα επιδιορθώνεται το συντομότερο δυνατό. Η αξιοπιστία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά που περιγράφονται στη συνέχεια της συγκεκριμένης παραγράφου. Η ευστάθεια καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας του δικτύου. Τα ευφυή δίκτυα πρέπει να παρέχουν εγγυήσεις σχετικά με τη σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζουν τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, αξιοποιώντας την κατανομημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την αποθήκευση της σε μεγάλες εκτάσεις και αποτρέποντας διάφορα ανεπιθύμητα συμβάντα.

Μετρησιμότητα και ελεγχιμότητα: Η διακοπή των υπηρεσιών ή οι βλάβες είναι συμβάντα με σοβαρές επιπτώσεις, τα οποία παρουσιάζουν υψηλές πιθανότητες να συμβούν. Πρέπει να είναι μετρήσιμες και ελέγξιμες, ούτως ώστε να είναι δυνατή η διεξαγωγή εκτιμήσεων και αξιολογήσεων. Το ευφυές δίκτυο έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης και επιδιόρθωσης λειτουργικών ζητημάτων μέσα από δυναμικές μετρήσεις και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Επίσης πρέπει να υπάρχει ορισμένη παρατηρησιμότητα και διαφάνεια ούτως ώστε να διεξάγεται μία αποτελεσματική ανάλυση και διαχείριση καθώς και πρόβλεψη και αντίδραση των μεταβαλλόμενων καταστάσεων του δικτύου. Τα δεδομένα του δικτύου πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμα, παρατηρήσιμα και διαχειρίσιμα.

Ευελιξία και κλιμάκωση: Το δίκτυο κινείται από μία κεντρική δομή σε διάφορα αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (microgrids). Η κλιμάκωση πρέπει να είναι καλά ορισμένη. Μέσα από τη νησιδοποίηση (islanding), τα μικροδίκτυα αποσκοπούν στην ενσωμάτωση της κατανεμημένης παραγωγής και της αποθήκευσης ενέργειας ούτως ώστε να συνεισφέρουν ενέργεια στους παρόχους στις περιόδους υψηλής ζήτησης. Η νησίδα εισάγει την προσέγγιση ενός γιγαντιαίου έξυπνου δικτύου το οποίο αποτελείται από διάφορα έξυπνα μικροδίκτυα. Κάθε μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας αναφορικά με τη διαχείριση ζήτησης, το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφαλείας. Η ευελιξία δίδει τη δυνατότητα παροχής πολλών εναλλακτικών διαδρομών για τη μεταφορά της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ καθιστά δυνατούς τον έλεγχο και τη λειτουργία όποτε είναι αναγκαίοι. Παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: **επεκτασιμότητα**, για την εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών παραγωγής κατα το μέλλον, **προσαρμοστικότητα** στις διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες και κλίματα, **πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου**, ούτως ώστε να συντονίζονται τα αποκεντρωμένα συστήματα ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου, **συμβατότητα** με τα διάφορα πλαίσια λειτουργίας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και δυνατότητες σταδιακής αναβάθμισης εν λειτουργία του υλικού και του λογισμικού που χρησιμοποιείται. Η ευελιξία είναι εφαρμόσιμη σε διάφορα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο (ανάμεσα τους τα ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus, ZigBee) τα οποία έτσι είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα παγκοσμίως.

Διαθεσιμότητα: Είναι ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό για την παροχή ενέργειας και πληροφοριών στους καταναλωτές, ενώ στηρίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Απαιτείται μία υψηλή διαθεσιμότητα πόρων, ειδικά για θέματα τα οποία άπτονται της καθυστέρησης (latency) ή της ασφάλειας. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής η καθυστέρηση πρέπει να είναι της τάξεως των ms, αλλά ένα φαινόμενο άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service) ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα στις επιδόσεις του δικτύου καθιστώντας τους servers ή τις υπηρεσίες μη διαθέσιμες προσωρινά. Το πρόβλημα θα μπορούσε να επιλυθεί μέσω του πλεονασμού (redundancy). Η αποτελεσματικότητα του όμως εξαρτάται από τον σχεδιασμό του

συστήματος ούτως ώστε να αποφευχθεί το κόστος της υψηλής πολυπλοκότητας του δικτύου καθώς και η κλιμάκωση.

Ανθεκτικότητα: Καθορίζει την αξιοπιστία του δικτύου όταν προκύπτουν διάφορα συμβάντα. Το δίκτυο θα πρέπει να παρέχει ασφαλώς ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές ασχέτως των οποιωνδήποτε εσωτερικών ή εξωτερικών κινδύνων. Αναφορικά με την ασφάλεια, η ανθεκτικότητα αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από την οποιαδήποτε διαταραχή ή δυσλειτουργία, μέσα από μία εύρωστη διαδικασία γρήγορης απόκρισης. Το δίκτυο με τον τρόπο αυτό αποκτά τη δυνατότητα δυναμικού επαναπροσδιορισμού ούτως ώστε να ανακάμπτει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες ενέργειες και βλάβες των στοιχείων του. Ευάλωτα στοιχεία είναι οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Για την αντιμετώπιση των συγκεκριμένων περιστατικών απαιτείται η εκπόνηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης.

Συντηρησιμότητα: Επί της ουσίας απεικονίζει την αντοχή στον χρόνο και την αξιοπιστία του δικτύου. Αποτελεί μίας ένδειξης των δυνατοτήτων αποτελεσματικής και αποδοτικής εκτέλεσης διαφόρων εργασιών συντήρησης. Οι σχετικές διαδικασίες αποτελούνται από την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το δίκτυο πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να διευκολύνεται η συντήρηση, ούτως ώστε οι διάφορες συνιστώσες ενέργειας και επικοινωνιών (για παράδειγμα, εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου, διαχείριση) να επιδιορθώνονται γρήγορα και οικονομικά. Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο του συστήματος συντήρησης του δικτύου είναι η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, εργαλείων και εξοπλισμού.

Βιωσιμότητα: Σχετίζεται με την επάρκεια, την αποδοτικότητα και τη φιλικότητα του δικτύου προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καλυφθεί μέσα από την αξιοποίηση προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πηγών, την αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσα από την αξιοποίηση της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και τον περιορισμό της συμφόρησης του δικτύου. Οι νέες τεχνολογίες που θα αξιοποιηθούν πρέπει να προκαλούν χαμηλότερη μόλυνση ή εκπομπές και να μην εξαρτώνται από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Διαλειτουργικότητα: Εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από αυτήν η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των συνολικών επιδόσεων του δικτύου. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συνόλου από κοινά και διαλειτουργικά πρότυπα για τη διασύνδεση της ενέργειας και των επικοινωνιών. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι αναγκαίο κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων, ούτως ώστε να γίνονται κατανοητά μεταξύ τους και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Μία μη αποτελεσματική διασύνδεση των διαφόρων μερών του δικτύου θα είχε ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση του χρόνου απόκρισης και την υποβάθμιση της λειτουργίας και της αποδοτικότητας του συνολικού συστήματος.

Ασφάλεια: Έχει ως αντικείμενο της προβλήματα του δικτύου τα οποία έχουν τη ρίζα τους σε ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως είναι οι κακόβουλες επιθέσεις και οι μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μία ασφαλής σύνδεση παρόχου και καταναλωτή παρέχει προστασία για τις σημαντικές εφαρμογές και τα δεδομένα καθώς και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα μέτρα και εργαλεία που σχετίζονται με την ασφάλεια αποτελούν ουσιώδη συστατικά στοιχεία ενός ευφυούς δικτύου. Ορισμένα σχετικά παραδείγματα είναι τα συστήματα firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (Virtual Private Networks – VPNs), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (Virtual Local Area Networks – VLANs), καθώς και ο έλεγχος πρόσβασης.

Βελτιστοποίηση: Αποτελεί ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό του οποιουδήποτε ευφυούς δικτύου. Επιτυγχάνεται μέσα από την αξιοποίηση των πλέον σύγχρονων τεχνολογιών και των ευφύων ηλεκτρικών συσκευών, καθώς και του ευφυούς ελέγχου και των αυτοματισμών, με την ταυτόχρονη εξισορρόπηση ενός εύρους μεταβλητών. Η βελτιστοποίηση του ευφυούς δικτύου νοείται στους τομείς της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, της αποδοτικότητας της μετατροπής και χρήσης της, της ποιότητας παραγωγής και διανομής, της διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων, της αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και επικοινωνιών, της χρονικής απόκρισης και διαχείρισης των σφαλμάτων, καθώς και των οικονομικών κερδών. Επίσης η μείωση των εξόδων, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η αξιοποίηση των πόρων είναι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες του ευφυούς δικτύου το οποίο θα υλοποιηθεί επί του πρακτέου.

Ορισμένα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά των ευφύων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας του μέλλοντος θα μπορούσαν να είναι και τα παρακάτω:

Ψηφιοποίηση: Το ευφυές δίκτυο θα αξιοποιεί μία μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για την ταχεία και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση όλου του συστήματος μεταφοράς. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό θα καταστήσει εύκολη και την ανάπτυξη άλλων ευφύων λειτουργιών. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα θα χαρακτηρίζεται από ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη για την ενημέρωση σημαντικών καταστάσεων καθώς και υψηλή ανοχή προς τα ανθρώπινα λάθη.

Ευφυΐα: Στο δίκτυο μεταφοράς θα ενσωματωθούν ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία. Θα είναι διαθέσιμη η αυτο-επίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του δικτύου μέσα από την online ανάλυση στο πεδίο του χρόνου, όπως είναι η ανάλυση της σταθερότητας τάσης - γωνίας και της ασφάλειας. Επίσης θα υπάρχει η δυνατότητα αυτοθεραπείας για την ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου μεταφοράς μέσα από συντονισμένα σχήματα προστασίας και ελέγχου.

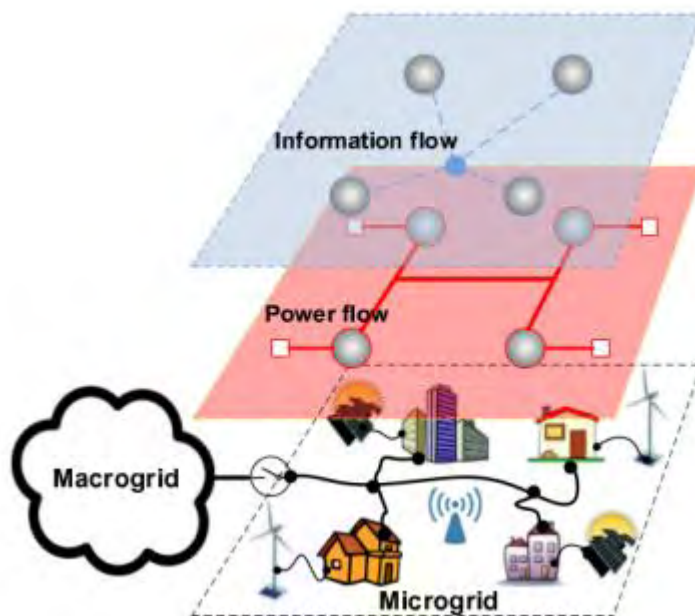
Προσαρμογή: Το ευφυές δίκτυο θα έχει σχεδιασθεί προσαρμοσμένο προς τον πελάτη, ούτως ώστε να διευκολυνθούν οι φορείς εκμετάλλευσης του, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες και τη διαλειτουργικότητα του. Θα προσφέρει στους

καταναλωτές περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας, ούτως ώστε να αυξηθεί ο λόγος ποιότητας – τιμής. Η αγορά ενέργειας θα απελευθερωθεί περισσότερο χάρη στα ευφυή δίκτυα μέσα από την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας.

2.7 Παράδειγμα δικτύων στο έξυπνο δίκτυο

2.7.1 Μικροδίκτυο

Χάρη την κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γεννιέται ένα νέο πρότυπο δικτύου, το μικροδίκτυο, το οποίο αποτελεί σημαντικό κομμάτι των μελλοντικών έξυπνων δικτύων. Το μικροδίκτυο περιλαμβάνει ηλεκτρογεννήτριες, αποθηκευτικές διατάξεις και ηλεκτρικά φορτία. Το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο με το κλασικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (μακροδίκτυο) και είναι δυνατή η αποσύνδεση του από αυτό. Μετά την αποσύνδεση του έχει την ικανότητα να λειτουργεί απομονωμένα (islanded mode). Ηλεκτρικές γεννήτριες κατανεμημένης παραγωγής συνεχίζουν να τροφοδοτούν τους πελάτες του δικτύου με ενέργεια χωρίς να είναι απαραίτητες οι εγκαταστάσεις παραγωγής του μακροδικτύου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι χρήστες παρ' όλο που δεν είναι συνδεδεμένοι στο μακροδίκτυο ανταλλάζουν πληροφορίες με αυτό. Αυτό γίνεται διότι πρέπει να είναι γνωστή η κατάσταση του μακροδικτύου έτσι ώστε αν υπάρξει ανάγκη να επανασυνδεθεί το μικροδίκτυο. Στο σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα μακροδικτύου.



Σχήμα 2.3-Στο κατώτερο επίπεδο φαίνεται ένα απλό μικροδίκτυο. Στο μεσαίο η ροή της ενέργεια σε αυτό. Στο πάνω επίπεδο η ροή της πληροφορίας.

2.7.2 Grid to Vehicle(G2V) και Vehicle to Grid(V2G)

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται συνεχώς η χρήση ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων λόγω του χαμηλότερου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα αλλά και λόγω έλλειψης αυτών. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη γέννηση των όρων Grid to Vehicle(G2V) και Vehicle to Grid(V2G).

Τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα εφόσον τροφοδοτούνται από το δίκτυο(G2V) αποτελούν φορτίο αυτού και μάλιστα σημαντικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται θέματα ζήτησης ενέργειας στο δίκτυο λόγω της σύγχρονης φόρτισής τους σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Αλλά και πρόβλημα χαμηλής απόδοσης του συστήματος και υπερφόρτωση.

Σε αυτό το πρόβλημα λύση δίνει η βελτιστοποίηση της επίδρασης των οχημάτων στο δίκτυο. Πιο αναλυτικά είναι απαραίτητο να παραμείνει η ζήτηση της ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα λαμβάνοντας ως σημαντική παράμετρο την φόρτιση των οχημάτων. Αυτό λύνεται με το να οριστεί μη ταυτόχρονη φόρτιση των οχημάτων αποφεύγοντας έτσι τις απώλειες ενέργειας και τις αυξομειώσεις τάσης του δικτύου.

Επίσης για την ικανοποίηση των αναγκών ενέργειας του έξυπνου δικτύου μπορεί να υλοποιηθεί και η ιδέα V2G. Δηλαδή τα ηλεκτρικά οχήματα θα συνδέονται στο δίκτυο για να δώσουν ενέργεια σε αυτό αντί να καταναλώσουν από αυτό.

Οι δύο αυτές αντίθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ έξυπνου δικτύου και οχημάτων είναι σημαντικό να μελετηθούν και να ληφθούν υπόψη και άλλες παράμετροι για τη σωστή χρήση τους, την αξιοποίηση και την ευστάθεια του δικτύου. Για παράδειγμα είναι σημαντικό να οριστούν οι βέλτιστες ώρες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και οι ώρες που αυτά παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο.

3. Σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ενάντια σε κακόβουλες δραστηριότητες στις επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα παρουσιαστεί το σύστημα που προτάθηκε από τον Fadlullah [20] για την πρόβλεψη κακόβουλων ενεργειών στις επικοινωνίες ενός ευφυούς δικτύου. Με τον τρόπο αυτό το δίκτυο αποκτά τη δυνατότητα να δράσει εκ των προτέρων και να μετριάσει τις πιθανές επιδράσεις των κακόβουλων δράσεων.

Οι επικοινωνίες ενός ευφυούς δικτύου λαμβάνουν χώρα μόνο μεταξύ μηχανισμών όπως είναι οι αισθητήρες, οι έξυπνοι μετρητές και άλλα στοιχεία του εξοπλισμού. Οι επικοινωνίες μεταξύ των μηχανισμών του ευφυούς δικτύου πρέπει να είναι ιδιωτικές και ασφαλείς από τη στιγμή που πολλές από τις αυτόνομες λειτουργίες που διεκπεραιώνονται από αυτές είναι κρίσιμες για τη λειτουργία του δικτύου. Το ευφύες δίκτυο συνήθως έχει διάφορες ηλεκτρικές συσκευές συνδεδεμένες μεταξύ τους κατά έναν πολύπλοκο τρόπο ούτως ώστε να μπορούν να μεταβιβάζονται πληροφορίες όπως είναι η ενεργειακή κατανάλωση και άλλα σήματα παρακολούθησης. Λόγω του ότι οι επικοινωνίες φτάνουν μέχρι και τις συσκευές οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες στις οικίες, πέραν της επεκτασιμότητας και της γρήγορης επικοινωνίας θα πρέπει να δοθεί σημαντική προσοχή και στην ασφάλεια του ευφυούς δικτύου. Από τη στιγμή που οι επικοινωνίες βασίζονται στις υπάρχουσες τεχνολογίες δικτύωσης, τα ίδια ζητήματα ασφάλειας που απαντώνται συχνά στα συμβατικά δίκτυα υπάρχουν και στα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα, απειλές όπως οι επιθέσεις κατανεμημένης άρνησης υπηρεσίας (distributed denial of service – DDoS) είναι πιθανό να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις επικοινωνίες των ευφύων δικτύων λόγω της εμπλοκής μεγάλου όγκου ηλεκτρικών συσκευών από την πλευρά του καταναλωτή. Συνεπώς, οι μηχανισμοί ενός ευφυούς δικτύου θα πρέπει να έχουν μία επαρκή δομή ούτως ώστε να προβλέπουν ή να προειδοποιούν εκ των προτέρων σχετικά με κακόβουλα περιστατικά, ανωμαλίες και βλάβες. Οι μηχανισμοί μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετικά είδη δικτύων, όπως είναι τα οικιακά, τα δίκτυα κτιρίου ή τα δίκτυα γειτονιάς. Οι έξυπνοι μετρητές που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα διαφορετικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχηματισμό ενός δικτύου διαμοιρασμού πληροφοριών. Ένας τέτοιος διαμοιρασμός πληροφοριών θα μπορούσε να αποτελέσει έναν σημαντικό πόρο για τη διεξαγωγή συνολικών και χρονικών αξιολογήσεων των αναδυόμενων κακόβουλων απειλών για τις επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου.

Ενώ οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να πιστοποιούν τους άλλους έξυπνους μετρητές και τις συσκευές, το σχήμα της πιστοποίησης μπορεί επίσης να αποτελέσει στόχο επιθέσεων DDoS. Οι έξυπνοι μετρητές καθιστούν δυνατή την αυτόματη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του παρόχου ενέργειας. Είναι εξοπλισμένοι με δύο διεπαφές:

- Τη διεπαφή ανάγνωσης της κατανάλωσης ισχύος.

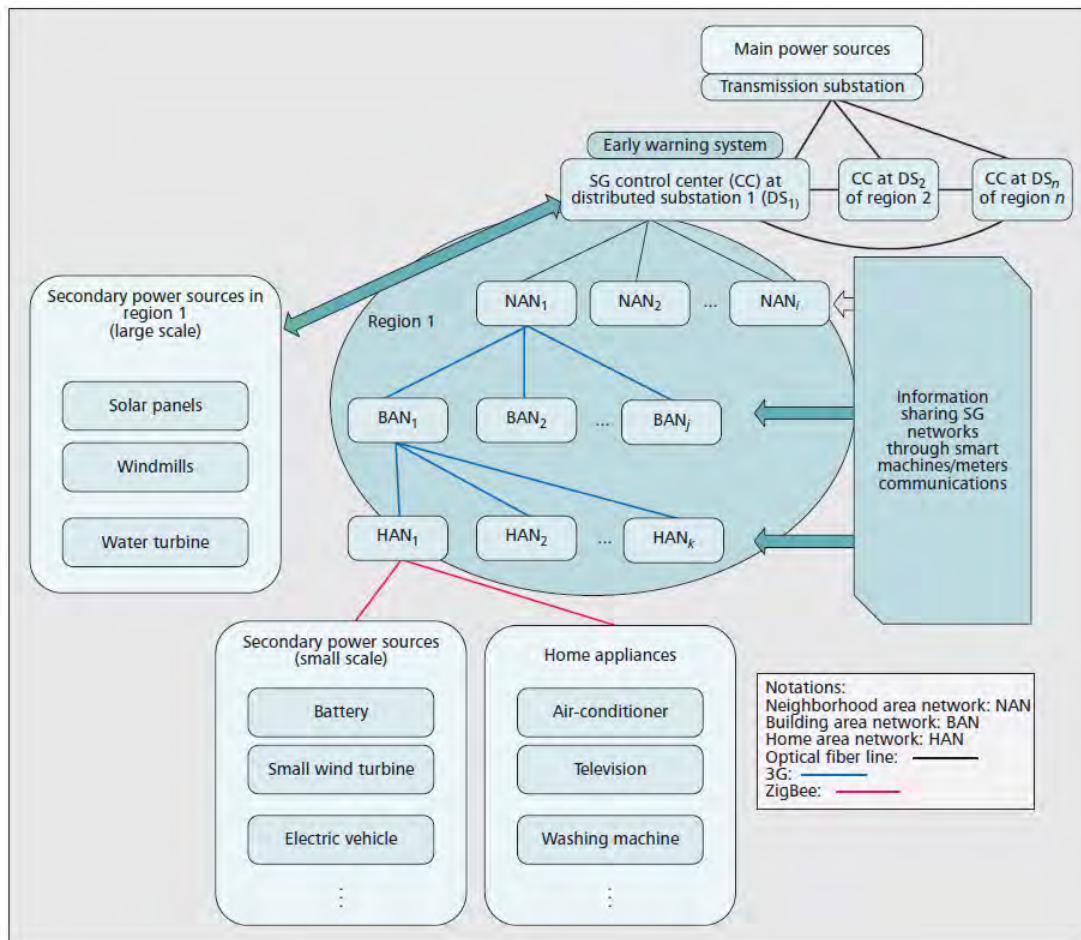
- Τη διεπαφή της θύρας επικοινωνίας.

Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι βάσει των σημερινών προτύπων του ευφυούς δικτύου, προτιμάται η επικοινωνία που βασίζεται στο πρωτόκολλο IP ούτως ώστε να είναι δυνατή σχεδόν χωρίς καμμία προσπάθεια η διασύνδεση των επιμέρους μερών του δικτύου. Στη μελέτη του Fadlullah [20] το ευφύες δίκτυο χωρίζεται σε τρία υπό-δίκτυα, το δίκτυο γειτονιάς (Neighborhood Area Network – NAN), το δίκτυο κτιρίου (Building Area Network – BAN) και το δίκτυο οικίας (Home Area Network – HAN).

Το NAN περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης τρίτης γενιάς (3G) και έναν αριθμό από BANs. Το 3G πλαίσιο που χρησιμοποιείται για τις επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου θα πρέπει να διαφέρει από εκείνα που χρησιμοποιούνται για την παροχή άλλων υπηρεσιών (για παράδειγμα, Internet). Ο λόγος για αυτό είναι η αποφυγή της συμφόρησης δικτύου. Επίσης, είναι δυνατόν να αποφευχθούν απειλές ασφαλείας οι οποίες προέρχονται από το Internet και μπορεί να έχουν κάποια επίδραση σε επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου οι οποίες παρουσιάζουν ευαισθησία στην καθυστέρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλοι τρόποι επικοινωνίας πέραν του 3G θα μπορούσαν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις για τον σκοπό αυτό. Ο έξυπνος μετρητής του NAN μπορεί να παρακολουθήσει την ισχύ η οποία διανέμεται σε μία συγκεκριμένη γειτονιά από το αντίστοιχο κέντρο ελέγχου του υποσταθμού διανομής.

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση το κάθε κτίριο που συνδέεται στο ευφύες δίκτυο έχει το δικό του BAN. Ένα BAN αποτελείται από ορισμένα διαμερίσματα τα οποία έχουν HANs. Ο έξυπνος μετρητής του BAN συνήθως είναι εγκατεστημένος στην παροχή ρεύματος του κτιρίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των ενεργειακών αναγκών και της χρήσης των κατοίκων του κτιρίου. Προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία μεταξύ του BAN και του HAN, οι σταθμοί βάσης 3G μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη περισσότερων περιοχών.

Το HAN είναι ένα υποσύστημα του ευφυούς δικτύου το οποίο έχει ως αντικείμενο του την αποτελεσματική διαχείριση των στιγμιαίων απαιτήσεων ισχύος των τελικών χρηστών. Για παράδειγμα, το HAN1 του Σχήματος 3.13 είναι υπεύθυνο για τον εξοπλισμό (τηλεόραση, πλυντήριο, φούρνος κλπ.) στο πρώτο διαμέρισμα του εξεταζόμενου κτιρίου. Οι πληροφορίες καταγράφονται στον έξυπνο μετρητή του HAN1 ο οποίος με τη σειρά του επικοινωνεί με το BAN1. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα HAN ενδέχεται να περιλαμβάνει και ανανεώσιμες ή εφεδρικές πηγές ενέργειας, όπως είναι τα ηλεκτρικά οχήματα, οι ηλιακοί συλλέκτες, οι μπαταρίες, οι μικρές ανεμογεννήτριες.



Σχήμα 3.13 – Ιεραρχική δομή του ευφυούς δικτύου

Στο μοντέλο επίθεσης που εφαρμόστηκε στην έρευνα που παρουσιάζεται, αρχικά η επιτιθέμενη πλευρά μπορεί να αφουγκραστεί, εμβάλλει και τροποποιήσει πακέτα τα οποία μεταδίδονται στο ευφές δίκτυο. Επίσης, έχει πρόσβαση σε έναν τουλάχιστον έξυπνο μετρητή μέσω του οποίου επιδρά στο δίκτυο. Επιπρόσθετα, μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει πολλαπλούς έξυπνους μετρητές για να πραγματοποιήσει ταυτόχρονα καταναμημένες επιθέσεις. Συγκεκριμένα, μέσα από επιθέσεις μόλυνσης από σκουλήκια (worms), μπορεί να εκμεταλλευτεί ήδη υπονομευμένους έξυπνους μετρητές σε διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα του ευφυούς δικτύου. Στην έρευνα που παρουσιάζεται θεωρήθηκε ότι οι υπονομευμένοι μετρητές δεν μπορούν να εκθέσουν τα κρυπτογραφικά μυστικά των άλλων έξυπνων μετρητών κατά τη διαδικασία πιστοποίησης.

Η πιστοποίηση είναι μία κρίσιμη υπηρεσία ασφάλειας των ευφών δικτύων. Εμπλέκει κυρίως τους έξυπνους μετρητές των διαφόρων υποδικτύων. Για παράδειγμα, ένας έξυπνος μετρητής ενός HAN πρέπει να πιστοποιηθεί με τον έξυπνο μετρητή του BAN που του αντιστοιχεί ούτως ώστε να συμμετάσχει στις διαδικασίες ζήτησης ενέργειας και απόκρισης. Παρομοίως, ο έξυπνος μετρητής ενός BAN πρέπει να πιστοποιηθεί με τον έξυπνο μετρητή του NAN.

Όμως, το σχήμα πιστοποίησης του έξυπνου μετρητή ενδέχεται να είναι ευάλωτο σε επιθέσεις DDoS. Στην έρευνα που παρουσιάζεται θεωρήθηκε ένα σενάριο στο έξυπνο δίκτυο σύμφωνα με το οποίο το σκουλήκι (worm) αναγκάζει την επηρεασμένη συσκευή να αποστέλλει μολυσμένα πακέτα πιστοποίησης σε άλλους μετρητές. Οι έξυπνοι μετρητές στο HAN ή το BAN επομένως πρέπει να πραγματοποιήσουν εκτενείς πιστοποιήσεις ψηφιακών υπογραφών ούτως ώστε να πιστοποιήσουν την πληροφορία που δέχονται. Ως συνέπεια τούτου, οι έξυπνοι μετρητές που έχουν πέσει θύματα της επίθεσης καταλήγουν να εξαντλούν τους ήδη περιορισμένους πόρους ενέργειας και μνήμης τους.

Ο κύριος στόχος ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης είναι η αξιόπιστη πρόβλεψη προβλημάτων στο ευφυές δίκτυο και η ειδοποίηση για αυτά. Λόγω του ότι οι χρήστες του ευφυούς δικτύου πληρώνουν για την υπηρεσία, αναμένουν έγκαιρη ειδοποίηση σχετικά με προβλήματα που προκύπτουν στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, προβλήματα τα οποία οδηγούν στη διακοπή υπηρεσίας πρέπει να εντοπίζονται το συντομότερο δυνατόν. Είναι ακόμα καλύτερο το να προβλέπονται και να αναφέρονται στους χρήστες. Για το κέντρο ελέγχου του ευφυούς δικτύου, η έγκαιρη πρόβλεψη και ειδοποίηση συμβάλλει στον γρήγορο εντοπισμό των προβλημάτων του δικτύου ούτως ώστε αυτά να μπορούν να επισκευαστούν γρηγορότερα και να παρέχονται αδιάκοπες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι ένα πρόβλημα μπορεί να προκύψει οπουδήποτε σε ένα ευφυές δίκτυο, στο HAN, το BAN ή το NAN. Η σημασία του προβλήματος μπορεί να αποδοθεί σε ζητήματα που σχετίζονται είτε με την επικοινωνία είτε με τη μεταφορά της ισχύος. Με άλλα λόγια, ένα εύρος προβλημάτων, όπως είναι η συμφόρηση του δικτύου, ανωμαλίες της διανομής ενέργειας (για παράδειγμα, απότομες αυξομειώσεις της στάθμης της τάσης), κακόβουλες επιθέσεις κ.ο.κ. εμπίπτουν του αντικειμένου των προβλέψεων. Μία άλλη σχεδιαστική ανησυχία του συστήματος πρόβλεψης είναι το εάν θα πρέπει να είναι συγκεντρωμένο ή κατανεμημένο. Ενώ τα κατανεμημένα συστήματα πρόβλεψης είναι συνήθως προτιμητέα, θα πρέπει ο σχεδιαστής να εξετάζει το εάν είναι πρακτικά εφικτά. Οι μεμονωμένοι έξυπνοι μετρητές των σπιτιών ή των κτιρίων έχουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας και μνήμης και επομένως ενδέχεται να μην είναι πρακτική η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών πρόβλεψης σε αυτές τις συσκευές. Από την άλλη πλευρά, το κέντρο ελέγχου του ευφυούς δικτύου με τους έξυπνους μετρητές των NANs μπορεί να είναι εξοπλισμένο με τη δυνατότητα πρόβλεψης. Για παράδειγμα, οι ασυνήθιστες δραστηριότητες που παρατηρούνται στο επίπεδο του κτιρίου μπορούν να αναφέρονται στο NAN και στη συνέχεια να προωθούνται στο κέντρο ελέγχου. Το κέντρο ελέγχου μπορεί, επομένως, να προβλέπει το πότε επίκειται ένα πρόβλημα στον αντίστοιχο έξυπνο μετρητή και να αποστέλλει οδηγίες στον μετρητή ούτως ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες δράσεις για τον μετριασμό του προβλήματος. Επιπρόσθετα, το κέντρο ελέγχου μπορεί να εκδίδει επείγουσες ειδοποιήσεις στους έξυπνους μετρητές του κτιρίου ή της γειτονιάς, ή ακόμα σε άλλα τοπικά κέντρα ελέγχου, πληροφορώντας τους ώστε να αναμένουν μία παρόμοια ανώμαλη δραστηριότητα.

Τέλος, το σύστημα έγκαρης προειδοποίησης δεν πρέπει να ασχολείται με έναν μεμονωμένο τύπο κακόβουλης δραστηριότητας. Παρόλα αυτά, για λόγους σαφήνειας και διευκόλυνσης της εξήγησης, η μελέτη του Fadlullah [20] ασχολήθηκε μόνο με έναν τύπο κακόβουλης επίθεσης (την DDoS). Από σχεδιαστικής απόψεως, το σχήμα πρόβλεψης πρέπει να είναι κοινό για τις διάφορες κακόβουλες δραστηριότητες ούτως ώστε να αποφευχθεί η επιπρόσθετη πολυπλοκότητα λόγω της υιοθέτησης ή του συνδυασμού διαφορετικών μεθόδων. Μία κοινή αρχιτεκτονική ενός συστήματος ειδοποίησης ευφυούς δικτύου πρέπει να είναι μη παραμετρική. Δηλαδή, δεν πρέπει να επηρεάζεται από τους διαφορετικούς τύπους εισόδων ή προτύπων οι οποίοι προκύπτουν από διαφορετικές κακόβουλες δραστηριότητες όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Για παράδειγμα, τα μοντέλα που βασίζονται στις Γκαουσιανές διεργασίες αποτελούν ένα καλό θεμέλιο για διάφορες χωρικές και χρονικές εφαρμογές διότι οι Γκαουσιανές διεργασίες προσφέρουν μία αρχικοποιημένη, πιθανοτική προσέγγιση για τη διευκόλυνση της μηχανικής μάθησης. Ο Fadlullah [20] πρότεινε την υιοθέτηση μίας παλινδρόμησης Γκαουσιανής διεργασίας για την πρόβλεψη των κακόβουλων δραστηριοτήτων στο δίκτυο που περιγράφηκε προηγουμένως. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί με παρόμοιο τρόπο για την αντιμετώπιση και άλλων κακόβουλων δραστηριοτήτων.

Στη μέθοδο του Fadlullah [20] τα χαρακτηριστικά των ανώμαλων και/ή κακόβουλων δραστηριοτήτων στις επικοινωνίες του ευφυούς δικτύου συμβολίζονται ως τυχαίες μεταβλητές. Οι τυχαίες αυτές μεταβλητές μπορεί να είναι ο αριθμός των προσβεβλημένων έξυπνων μετρητών ενός κτιρίου, το κλάσμα των δράσεων κακόβουλης πιστοποίησης σε μία συγκεκριμένη μονάδα και ούτω καθεξής. Εάν θεωρηθεί μία τέτοια συλλογή τυχαίων μεταβλητών στην επικοινωνία του ευφυούς δικτύου, μπορεί να σχηματιστεί μία Γκαουσιανή διεργασία. Σε αυτή τη συλλογή τυχαίων μεταβλητών, οποιοδήποτε πεπερασμένο υποσύνολο των μεταβλητών αυτών μπορεί να βρεθεί να έχει μία κοινή Γκαουσιανή κατανομή πολλών μεταβλητών. Σημειώνεται ότι μία Γκαουσιανή κατανομή ορίζεται πλήρως από ένα μέσο διάνυσμα και μία συνάρτηση συνδιασποράς ή πυρήνα. Επίσης σημειώνεται ότι οι ισχύουσες συναρτήσεις συνδιασποράς οδηγούν σε θετικούς ημιορισμένους πίνακες συνδιασποράς. Για δύο αυθαίρετες εισόδους στη συνάρτηση συνδιασποράς, οι αντίστοιχες λειτουργικές έξοδοι δείχνουν το επίπεδο ομοιότητας.

Οι Γκαουσιανές διεργασίες προσφέρουν μία πλούσια κλάση μοντέλων και όταν αντιστοιχηθούν κατάλληλα, είναι σημαντικά ευέλικτες. Ένα τέτοιο ευέλικτο χαρακτηριστικό είναι η παλινδρόμηση των Γκαουσιανών διεργασιών, η οποία θα περιγραφεί στη συνέχεια για τον σκοπό της πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε.

Η παλινδρόμηση Γκαουσιανής διεργασίας είναι μία Μπεϊσιανή τεχνική μοντελοποίησης δεδομένων η οποία διέπεται από πλήρη αβεβαιότητα. Όπως και οι άλλες Μπεϊσιανές προσεγγίσεις, οι Γκαουσιανές διεργασίες έχουν μία προγενέστερη και μία μεταγενέστερη κατάσταση. Οι κατανομές ορίζονται από συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιούν την Γκαουσιανή διεργασία, η οποία

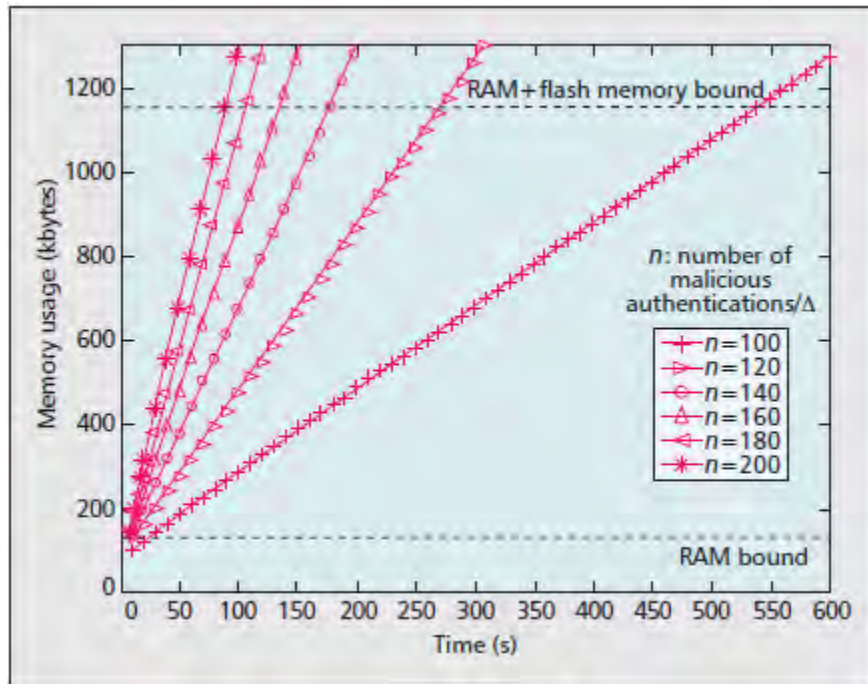
χρησιμοποιείται ως μία προγενέστερη κατάσταση για το Μπείσιανό συμπέρασμα. Η προγενέστερη αυτή κατάσταση μπορεί να αποκτηθεί ευέλικτα μέσα από δεδομένα εκπαίδευσης ή παρατήρησης. Με άλλα λόγια, υπάρχουν προγενέστερες εκτιμήσεις σχετικά με τη μορφή του υποβόσκοντος μοντέλου. Μέσα από παρατηρήσεις ή πειράματα, αποκτούνται δεδομένα σχετικά με το μοντέλο. Για παράδειγμα, υπό το πρίσμα του ευφυούς δικτύου, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους έξυπνους μετρητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχηματισμό των προγενέστερων εκτιμήσεων μίας Γκαουσιανής διεργασίας, η οποία χαρακτηρίζει διαφορετικές πτυχές της επικοινωνίας του ευφυούς δικτύου.

Πραγματοποιείται η υπόθεση του ότι οι προγενέστερες εκτιμήσεις της συνάρτησης που θεωρήθηκε συμμορφώνονται σε μία Γκαουσιανή διεργασία με έναν προγενέστερο πίνακα μέσου όρου και συνδιασποράς. Μέσα από την παλινδρόμηση της Γκαουσιανής διεργασίας, παρατηρούνται τα δείγματα της συνάρτησης σε διαφορετικές τοποθεσίες του πεδίου. Δοθέντος ενός συνόλου σημείων παρατήρησης και των αντίστοιχων παρατηρήσεων οι οποίες έχουν πραγματικές τιμές, είναι δυνατός ο υπολογισμός της μεταγενέστερης κατανομής ενός νέου σημείου. Σημειώνουμε ότι η μεταγενέστερη αυτή κατανομή είναι επίσης Γκαουσιανή (δηλαδή με συναρτήσεις μέσης τιμής και διασποράς). Οι βέλτιστοι παράμετροι της Γκαουσιανής διεργασίας αποκτώνται μέσα από τη μεγιστοποίηση της λογαριθμικής πιθανότητας των δεδομένων εκπαίδευσης βάσει των παραμέτρων. Υπολογίζοντας τη μεταγενέστερη κατάσταση, είναι δυνατή η διεξαγωγή προβλέψεων για αφανείς περιπτώσεις ελέγχου.

Παρόλα αυτά, προκειμένου να μοντελοποιηθεί επαρκώς η Γκαουσιανή διεργασία, είναι σημαντική η εκλογή της συνάρτησης συνδιακύμανσης. Η αιτία για αυτό είναι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι πρέπει να δημιουργηθεί ένας μη αρνητικός πεπερασμένος πίνακας συνδιακύμανσης για καθένα από τα σύνολα σημείων ή παρατηρήσεων του ευφυούς δικτύου. Ενώ μπορούν να επιλεγούν στάσιμες και μη στάσιμες συναρτήσεις συνδιακύμανσης, η εκλογή μίας συνάρτησης συνδιακύμανσης εξαρτάται από το πρόγραμμα που επιλύεται. Στην προσέγγιση πρόβλεψης της υπό εξέταση μελέτης όπου χρησιμοποιείται μία παλινδρόμηση Γκαουσιανής διεργασίας, υιοθετείται μία σύνθετη συνάρτηση συνδιακύμανσης λόγω του ότι είναι περισσότερο ευέλικτη για την εξεταζόμενη περίπτωση του ευφυούς δικτύου όπου αθροίζονται συμβολές συνδιακύμανσης από βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες τάσεις, μία περιοδική συνιστώσα και διακυμάνσεις με διάφορα μήκη παρατήρησης. Δύο ισότροπες τετραγωνικές εκθετικές συναρτήσεις συνδιακύμανσης χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων τάσεων. Η περιοδική συνιστώσα είναι το γινόμενο μίας περιοδικής εξομαλυμένης συνάρτησης συνδιακύμανσης και μίας άλλης ισότροπικής τετραγωνικής εκθετικής συνάρτησης συνδιακύμανσης χωρίς λανθάνουσα κλίμακα. Οι διακυμάνσεις αναπαριστώνται από μία ισότροπη ρητή δευτεροβάθμια συνάρτηση συνδιακύμανσης.

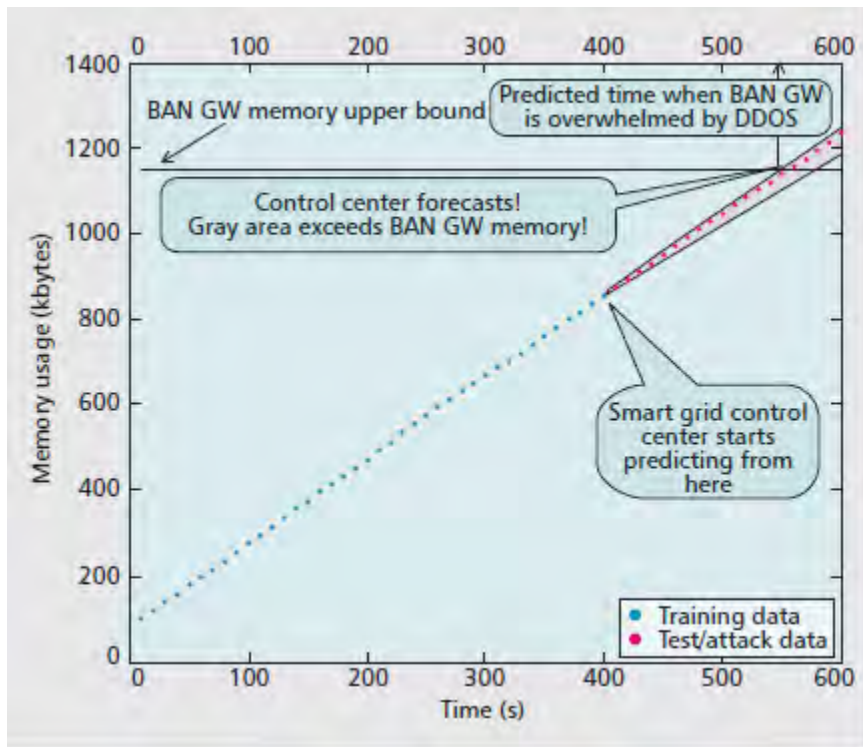
Προκειμένου να εξετασθεί η επίδοση της προτεινόμενης μεθόδου, διεξήχθη το επόμενο πείραμα το οποίο αφορούσε μία επίθεση DDoS. Θεωρήθηκε ένα μεγάλο κτίριο το οποίο είχε 20 διαμερίσματα (δηλαδή ο έξυπνος μετρητής του BAN σχετίζεται με 20 έξυπνους μετρητές HAN). Ο έξυπνος μετρητής του BAN θεωρείται ότι έχει 10 φορές μεγαλύτερες προδιαγραφές/διαμόρφωση σε σχέση με εκείνον ενός HAN. Θεωρείται ότι είναι ένας έξυπνος μετρητής με μία CPU (κεντρική μονάδα επεξεργασίας) 160 MHz, 128 kbytes RAM και 1 Mbyte μνήμη flash. Γίνεται η υπόθεση του ότι οι μισοί από τους ιδιοκτήτες των διαμερισμάτων δεν αναβάθμισαν το υλικολογισμικό των συσκευών τους. Ως εκ τούτου, οι μισοί από τους έξυπνους μετρητές των HAN μολύνονται από ένα worm, το οποίο σταδιακά διαδίδεται στο εξεταζόμενο BAN. Οι ιδιοκτήτες των υπολοίπων διαμερισμάτων θεωρείται ότι έχουν αναβαθμίσει το υλικολογισμικό ή το λειτουργικό σύστημα των έξυπνων μετρητών τους καταλλήλως. Ως εκ τούτου, δεν είναι ευάλωτοι στη μόλυνση από το worm. Οι έξυπνοι μετρητές του HAN οι οποίοι έχουν μολυνθεί από το worm σταδιακά ξεκινούν να δημιουργούν κακόβουλα αιτήματα πιστοποίησης στον έξυπνο μετρητή του BAN σε διάφορους ρυθμούς. Ο έξυπνος μετρητής του BAN απαντά στα αιτήματα πιστοποίησης τους. Επομένως, οι κακόβουλοι έξυπνοι μετρητές προσπαθούν να καταναλώσουν τους μάλλον περιορισμένους πόρους μνήμης που υπάρχουν στον έξυπνο μετρητή του BAN ούτως ώστε να μη γίνουν δεκτές οι θεμιτές αιτήσεις πιστοποίησης από τους ανεπηρέαστους έξυπνους μετρητές του HAN.

Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζεται η χρήση μνήμης του επηρεασμένου έξυπνου μετρητή του BAN στον χρόνο για διάφορους μέσους ρυθμούς κακόβουλων αιτημάτων πιστοποίησης, οι οποίοι δηλώνονται ως n . Στα πειράματα που διεξήχθησαν, η τιμή του n ποικίλλει από 100 έως 200 ανά διάστημα διεξαγωγής επίθεσης, Δ . Η τιμή του Δ τέθηκε ίση με μία λογικά μεγάλη τιμή, 10 s. Πρέπει να σημειωθεί ότι το n οφείλεται στους 10 επηρεασμένους μετρητές του HAN κατά τη διάρκεια του Δ . Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.14 υποδηλώνουν ότι η μνήμη του έξυπνου μετρητή του BAN καταναλώνεται πλήρως περισσότερο γρήγορα όσο αυξάνεται η τιμή του n . Για παράδειγμα, για τον χαμηλότερο εξεταζόμενο ρυθμό επίθεσης DDoS, $n = 100$, χρειάστηκαν 500 s για να καταναλωθεί η μνήμη του έξυπνου μετρητή του BAN. Από την άλλη πλευρά, για υψηλότερες τιμές του ρυθμού επίθεσης, $n = 180$ και $n = 200$, χρειάζονται μόνο περίπου 80 – 100 s για την κατανάλωση της συνολικής μνήμης του έξυπνου μετρητή του BAN. Ο έξυπνος μετρητής του BAN παραμένει απασχολημένος πιστοποιώντας τις κακόβουλες υπογραφές πιστοποίησης και η περιορισμένη μνήμη του καταναλώνεται ενώ τα νόμιμα αιτήματα των ανεπηρέαστων μετρητών απορρίπτονται. Ως συνέπεια τούτου, οι νόμιμοι μετρητές αρνούνται επικοινωνίας με τον έξυπνο μετρητή του BAN και δεν έχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού των απαιτήσεων ισχύος τους στο κέντρο ελέγχου του ευφυούς δικτύου.



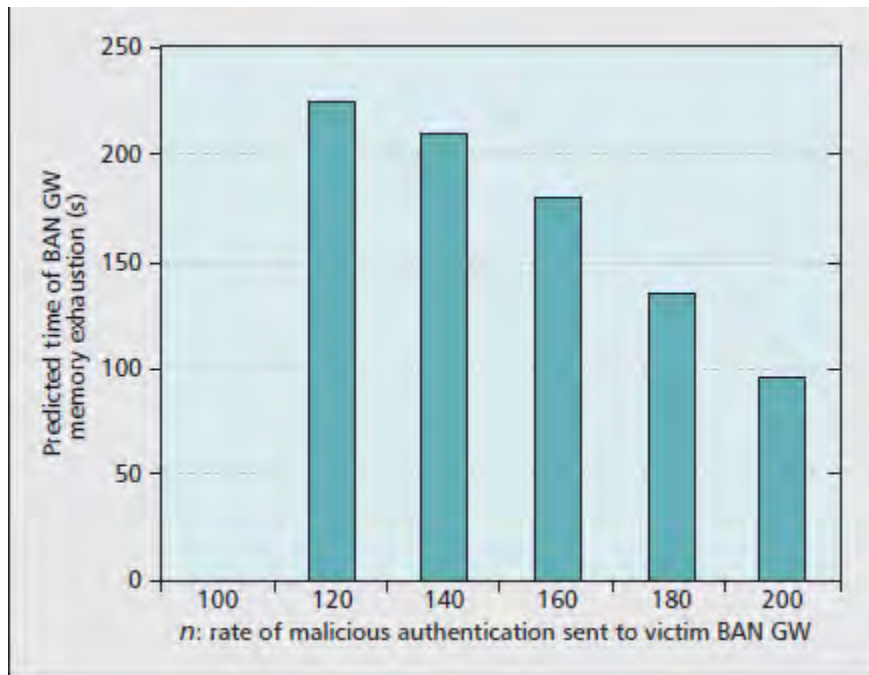
Σχήμα 3.14 – Χρήση μνήμης του επηρεασμένου έξυπνου μετρητή του BAN στον χρόνο για διάφορους ρυθμούς κακόβουλων αιτημάτων πιστοποίησης

Έπειτα, παρουσιάζουμε το αποτέλεσμα της προσομοίωσης του αλγορίθμου πρόβλεψης για $n = 100$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.15. Σε αυτή την περίπτωση, ένας χρόνος εκπαίδευσης των 400 s θεωρείται ειδικά για αυτό το σενάριο για $n = 100$ προκειμένου να διευκρινιστεί ξεκάθαρα ο τρόπος με τον οποίο αποκτώνται τα αποτελέσματα στο πείραμα που διεξήχθη. Τα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου επισημαίνονται στο σχήμα. Η γκρι περιοχή παρουσιάζει τα αποτελέσματα της πρόβλεψης. Καλύπτει τις πιθανοτικές προβλέψεις, υπό τους όρους των προβαλλόμενων ελάχιστων και μέγιστων τιμών χρήσης μνήμης λόγω της επίθεσης. Επίσης, ο μέσος όρος των μεγίστων και ελαχίστων τιμών της γκριζας περιοχής αντιστοιχεί καλά με το σύνολο δεδομένων πραγματικού ελέγχου. Δοθείσας της συγκεκριμένης πληροφορίας η οποία μεταβιβάζεται από τον έξυπνο μετρητή του BAN στον έξυπνο μετρητή του HAN, το κέντρο ελέγχου του ευφυούς δικτύου αξιολογεί τον χρόνο πρόβλεψης και ειδοποιεί τους έξυπνους μετρητές των άλλων BAN για πιθανές κυβερνοεπιθέσεις ούτως ώστε να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα (δηλαδή να ζητήσουν από τους έξυπνους μετρητές των αντίστοιχων HAN να αναβαθμίσουν το υλικολογισμικό τους ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του από worms). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι για έναν σημαντικά μεγάλο χρόνο εκπαίδευσης, ο προβλεπόμενος χρόνος του συμβάντος της επίθεσης αντιστοιχεί με τα δεδομένα ελέγχου με σημαντική ακρίβεια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15 – Απόκτηση του χρόνου πρόβλεψης με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου

Στο Σχήμα 3.16, αναπαρίστανται οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες προβλέπεται η εξάντληση της μνήμης του έξυπνου μετρητή του BAN, για διαφορετικές τιμές του n . Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η καθυστέρηση στην επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου μετρητή του BAN και του κέντρου ελέγχου δεν εξετάσθηκε διότι δεν αλλάζει τον σκοπό και τα θεμελιώδη αποτελέσματα των προσομοιώσεων που διεξήχθησαν. Ο χρόνος εκπαίδευσης που θεωρήθηκε στο Σχήμα 3.15 είναι πολύ μικρότερος εκείνου που θεωρήθηκε στα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 3.14. Η αιτία για αυτό είναι το γεγονός του ότι υψηλότερες τιμές του n οδηγούν τον έξυπνο μετρητή του BAN στο να καταβάλλεται από την αντίστοιχη επίθεση DDoS σχετικά γρήγορα. Επομένως, ο χρόνος εκπαίδευσης τίθεται ίσος με 50 s, χαμηλότερος της πραγματικής τιμής του χρόνου εξάντλησης της μνήμης του έξυπνου μετρητή του BAN (80 s) για τον εξεταζόμενο μέγιστο ρυθμό επίθεσης DDoS ($n = 200$). Όπως είναι εμφανές στο Σχήμα 3.16, ο χρόνος που χρειάζεται το κέντρο ελέγχου για να προβλέψει το συμβάν της επίθεσης είναι λογικός. Όμως, το μόνο μειονέκτημα είναι το ότι η εξάντληση της μνήμης του έξυπνου μετρητή του BAN λόγω του ελάχιστου ρυθμού επίθεσης δεν προβλέπεται από το κέντρο ελέγχου από τη στιγμή που δεν εκδηλώνει αρκετά χαρακτηριστικά επίθεσης σε αυτή τη σύντομη χρονική περίοδο. Επομένως, είναι επίσης σημαντική η υιοθέτηση διαφορετικών χρονικών παραθύρων χρόνου εκπαίδευσης ταυτόχρονα ούτως ώστε να συλληφθεί η επίδραση τόσο ήπιων όσο και υψηλών ρυθμών επιθέσεων DDoS.



Σχήμα 3.16 – Προβλεπόμενος χρόνος εξάντλησης της μνήμης του έξυπνου μετρητή του BAN από τον προτεινόμενο αλγόριθμο για τον συντομότερο χρόνο εκπαίδευσης των 50 s στην περίπτωση διαφορετικών ρυθμών επιθέσεων DDoS.

4. Έξυπνοι μετρητές

4.1 Εισαγωγή

Οι έξυπνοι μετρητές είναι ασύρματες συσκευές οι οποίες ελέγχουν την ενέργεια που καταναλώνεται καθημερινά και τοποθετούνται εντός της οικίας. Αυτό σημαίνει ότι ο καταναλωτής έχει την δυνατότητα να υπολογίσει την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, κάτι το οποίο ήταν αδύνατο με τον παραδοσιακό μετρητή ο οποίος υπολόγιζε τη μηνιαία κατανάλωση. Έτσι έχοντας τον έλεγχο της κατανάλωσης των συσκευών του μπορεί να κάνει οικονομία στον λογαριασμό του ως και 20% [21].

Οι έξυπνοι μετρητές παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων και για τους καταναλωτές και για τους προμηθευτές έναντι των συμβατικών μετρητών.

4.2. Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των έξυπνων μετρητών αναφέρονται παρακάτω:

- Παρατήρηση ανωμαλιών:
Με την καταγραφή διαφόρων χαρακτηριστικών όπως η καταγραφή της ενέργειας που καταναλώνεται, της ισχύος, της τάσης, του συντελεστή ισχύος κ.ο.κ. ο καταναλωτής θα μπορεί να παρατηρεί τυχόν ανωμαλίες. Αυτό του δίνει τη δυνατότητα να αναφέρει αυτές στον διαχειριστή του δικτύου ώστε να διορθωθούν.
- Βέλτιστη χρήση της κατανάλωσης ενέργειας:
Με τον έξυπνο μετρητή ο καταναλωτής θα ενημερώνεται άμεσα από τον προμηθευτή ανά πάσα στιγμή για το κόστος της ενέργειας. Αυτό θα τον βοηθήσει να διαχειριστεί οικονομικότερα την κατανάλωση των συσκευών του.
- Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της σύνδεσης:
Ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιεί και να απενεργοποιήσει την σύνδεσή του για λόγους οικονομίας και ασφάλειας όποτε αυτός το επιθυμεί.
- Εύκολη αλλαγή παρόχου:
Ο πελάτης θα έχει τη δυνατότητα να αλλάξει πάροχο ενέργειας πολύ εύκολα όπως συμβαίνει με τους παρόχους των τηλεπικοινωνιών. Αυτό θα δημιουργήσει αναγώνισμό στην αγορά.
- Αύξηση διεσπαρμένης παραγωγής:
Οι έξυπνοι μετρητές κάνουν εύκολη την εγκατάσταση μικρών οικιακών μονάδων παραγωγής όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες. Θα μπορεί να ρυθμιστεί έτσι την βέλτιστη κατανάλωση και την αποθήκευση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Αυτοματοποιημένο σύστημα:

Ο έξυπνος μετρητής δίνει την δυνατότητα για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα. Πιο αναλυτικά ο καταναλωτής θα μπορεί να δώσει εντολή για το ποιες συσκευές θα λειτουργούν κάθε φορά και να ορίσει τις ώρες που αυτές λειτουργούν. Για παράδειγμα θα μπορούσε να ορίσει την κουζίνα ή τον θερμοσίφωνα οι οποίες είναι συσκευές που καταναλώνουν πολύ ενέργεια να λειτουργούν ώρες που υπάρχει χαμηλή χρέωση.

4.3. Πλεονεκτήματα για τον προμηθευτή

Οι χρήση των έξυπνων μετρητών δεν ευνοεί μόνο τους καταναλωτές αλλά και τους προμηθευτές επιφέροντας κερδοφόρα αποτελέσματα σε αυτούς:

- Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο:
Ο προμηθευτής είναι δυνατόν να γνωρίζει κάθε στιγμή το φορτίο του δικτύου καθώς ο μετρητής αποστέλει δεδομένα στο κέντρο ανα 20 λεπτά περίπου.
- Μελλοντική πρόβλεψη αναγκών:
Τα δεδομένα τα οποία στέλνονται στο κέντρο κατανάλωσης μπορούν να επεξεργαστούν από τον προμηθευτή και να προβλέψει με αξιοπιστία τις μελλοντικές ανάγκες των καταναλωτών. Έτσι ο πάροχος έχει την ευκαιρία να προμηθευτεί με τα απαραίτητα ποσά ενέργειας που θα απαιτηθούν μελλοντικά.
- Απομακρυσμένος έλεγχος της σύνδεσης:
Ο πάροχος θα μπορεί οποιαδήποτε στιγμή εξ αποστάσεως να διακόψει ή να εκκινήσει την σύνδεση. Για παράδειγμα σε περίπτωση που ο καταναλωτής δεν τήρησε τις υποχρεώσεις η σύνδεση μπορεί να διακοπεί αλλά και να ενεργοποιηθεί ξανά όταν τις ξεπληρώσει.
- Εξάλειψη ανθρώπινου λάθους:
Με τον έξυπνο μετρητή εξαλείφεται το ανθρώπινο λάθος καθώς η διαδικασία μέτρησης της κατανάλωσης είναι αυτοματοποιημένη σε αντίθεση με τους ηλεκτρομηχανικούς μετρητές.
- Άμεση καταπολέμηση παράνομων ενεργειών:
Σε περίπτωση όπου οι ενδείξεις κάποιου οικιακού μετρητή δεν αντιστοιχούν με αυτές του δικτύου διανομής, δηλαδή παρατηρηθεί κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας ο πλαροχος μπορεί να διακόψει άμεσα την σύνδεση.

4.4.Είδη μετρητών

4.4.1. Ηλεκτρομηχανικός μετρητής

Στα υπάρχοντα κτίρια σήμερα γίνεται κυρίως χρήση ηλεκτρομηχανικών μετρητών. Αυτοί είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο. Με τις περιστροφές του δίσκου μετράται η ενέργεια που καταναλώνεται. Οι συγκεκριμένοι μετρητές περιέχουν μηχανική οθόνη στην οποία αναγράφεται η κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα ο μετρητής αυτός είναι επαγωγικός και στην οθόνη αναγράφονται οι περιστροφές του δίσκου. Στην εικόνα φαίνεται ο κλασικός ηλεκτρομηχανικός μετρητής [21].



4.4.2. Ηλεκτρονικός μετρητής

Οι ηλεκτρονικοί μετρητές περιέχουν πληθώρα δυνατοτήτων τις οποίες οι μηχανικοί μετρητές δεν περιέχουν. Πιο συγκεκριμένα οι ενδείξεις τους αναγράφονται σε οθόνη LCD και καταγράφονται σε αυτήν διάφορα είδη παραμέτρων όπως: η ηλεκτρική τάση, ο συντελεστής ισχύος, η χρήση ενέργειας, η άεργος ισχύς, η διαταραχή λόγω αρμονικών κ.ο.κ. Επίσης πολλοί ηλεκτρονικοί μετρητές μπορούν να παράξουν κάποιο σήμα εξόδου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιο αυτόματο σύστημα καταγραφής. Στην εικόνα φαίνεται ένας τέτοιος μετρητής [21].



4.4.3 Μετρητές προπληρωμής

Σύμφωνα με το παραδοσιακό πρότυπο πληρωμής ο καταναλωτής πληρώνει την ενέργεια που έχει καταναλώσει συνήθως στο τέλος του μήνα. Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιούνται μετρητές προπληρωμής αν ο πάροχος θεωρήσει ότι ο καταναλωτής δεν είναι σε θέση να πληρώσει την ενέργεια που έχει καταναλώσει. Δηλαδή ο πελάτης πληρώνει την ενέργεια που θα καταναλώσει στο μέλλον. Η παροχή ενέργειας διακόπτεται από έναν αυτόματο ρελέ μόλις ο πελάτης εξαντλήσει το ποσό της ενέργειας που έχει προπληρώσει. Επίσης στον μετρητή εμφανίζονται πληροφορίες όπως η σημερινή του χρέωση και πιστωτικά υπόλοιπα. Ένα κουμπί έκτακτης ανάγκης υπάρχει στον μετρητή που ενεργοποιεί ένα μικρό ποσό έκτακτης πίστωσης που μπορεί να καταναλωθεί. Το σύστημα αυτό αναδεικνύεται για επισφαλείς πελάτες, ενοικιαζόμενες μονάδες, καταστήματα και αθλητικές εγκαταστάσεις.

4.4.4. Έξυπνοι μετρητές

Οι έξυπνοι μετρητές εμπεριέχουν οθόνη LCD στην οποία παρουσιάζονται διάφορα ακατέργαστα δεδομένα. Τετοια δεδομένα είναι η ηλεκτρική ενέργεια, ο συντελεστής ισχύος, η ηλεκτρική ισχύς κ.α. Ο πελάτης με τον έξυπνο μετρητή θα έχει την δυνατότητα να γνωρίζει την κατανάλωσή του. Για παράδειγμα ενεργοποιώντας μια ενεργοβόρο συσκευή θα βλέπει αύξηση του φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Επίσης θα μπορεί να ενημερώνεται για το ιστορικό κατανάλωσης του αφού υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων.

Οι μετρητές θα εγκαθίστανται εντός του σπιτιού ή της πολυκατοικίας και όχι εξωτερικά, καθώς δεν θα χρειάζεται να είναι προσβάσιμοι από τα συνεργεία μέτρησης –τα οποία ως επί το πλείστον είναι εξωτερικές εργολαβίες– καθώς θα υπάρχει δυνατότητα τηλεμέτρησης. Αντί να έρχεται κάποιο συνεργείο για να κάνει τις καταμετρήσεις τα στοιχεία της κατανάλωσης θα αποστέλονται ασύρματα ή ενσύρματα στον κεντρικό υπολογιστή του παρόχου. Επιπλέον με τους έξυπνους μετρητές θα δίνεται η δυνατότητα πιο ευέλικτων τιμολογίων ανάλογα με την ώρα ή τη μέρα. Δηλαδή αυτό που σήμερα ισχύει και εφαρμόζεται με το λεγόμενο «νυχτερινό ρεύμα» θα μπορεί να επεκταθεί και οι χρεώσεις να είναι κλιμακωτές ανάλογα με τις ανάγκες του πελάτη αλλά και του παρόχου. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι έξυπνοι μετρητές ενθαρρύνουν τους ιδιοκτήτες των σπιτιών να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση από 3% έως 15%.

Τα συστατικά στοιχεία ενός έξυπνου μετρητή είναι η μητρική πλακέτα, ο αισθητήρας τάσης, ο μικροεπεξεργαστής και ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Ο αισθητήρας τάσης είναι απαραίτητος για την καταγραφή της τριφασικής τάσης. Ο μικροεπεξεργαστής(συνήθως 32 bit) εκτελεί εντολές, επεξεργάζεται δεδομένα, δαθέτει

μνήμη τύπου flash και έχει θύρες τύπου usb. Στην εικόνα φαίνεται ένας έξυπνος μετρητής[22].



4.5 Έξυπνα μετρητικά συστήματα

- Automated Meter Reading (AMR)

Η AMR είναι η τεχνολογία αυτόματης συλλογής δεδομένων κατανάλωσης, διαγνωστικού ελέγχου και κατάστασης από μετρητές νερού ή συσκευές μέτρησης ενέργειας (αέριο, ηλεκτρικό). Η μεταφορά αυτών των δεδομένων γίνεται σε μια κεντρική βάση δεδομένων για την τιμολόγηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την ανάλυσή τους. Ένα βασικό πλεονέκτημα τους είναι ότι η χρέωση μπορεί να βασίζεται σε σχεδόν πραγματική κατανάλωση και όχι σε εκτιμήσεις που βασίζονται στην προηγούμενη ή την προβλεπόμενη κατανάλωση. Αυτές οι έγκυρες πληροφορίες σε συνδυασμό με την ανάλυση μπορούν να βοηθήσουν τόσο τους παροχείς υπηρεσιών όσο και τους πελάτες να ελέγχουν καλύτερα τη χρήση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρήσης φυσικού αερίου ή κατανάλωσης νερού.

Οι τεχνολογίες AMR περιλαμβάνουν τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας και δικτύου βασισμένες σε πλατφόρμες τηλεφωνίας (ενσύρματες και ασύρματες), ραδιοσυχνότητες (RF) ή μετάδοσης ηλεκτρικής γραμμής.

- Automated Meter Management

Αυτό το σύστημα επιτρέπει την αμφίδρομη ροή των δεδομένων. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι η ακριβής μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Ο καταναλωτής ειδοποιείται σε περίπτωση αλλοίωσης των μετρήσεων. Μερικά ακόμα χαρακτηριστικά του είναι: η άμεση σύνδεση και επανασύνδεση της παροχής, οι μικρές απώλειες ενέργειας, ο έλεγχος τάσης, ο έλεγχος της ισχύος, οι τυπικές μετρήσεις κ.ο.κ.

4.6 Έξυπνο σύστημα OWL intuition

Πρόκειται για μια νέα γεννιά μετρητών παρακολούθησης και ελέγχου ενέργειας την OWL intuition. Το σύστημα αυτό είναι συνδεδεμένο στο διαδίκτυο και μπορεί να παρακολουθήσει και να διαχειριστεί χαρακτηριστικά κατανάλωσης και χρήσης ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να εξοικονομήσει ως και 25 % ενέργεια στον καταναλωτή. Στην πλατφόρμα OWL μεταφέρονται δεδομένα τα οποία ο χρήστης μπορεί να δει το ιστορικό τους είτε σε πραγματικό χρόνο από οποιονδήποτε υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο ή smartphone [23]. Στις εικόνες φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος και το interface της πλατφόρμας:

Technical

Operating frequency:

Transmitter - 433MHz

Network OWL Gateway – 433MHz and 868MHz

Operating range up to 30m

12 second refresh rate (Electricity consumption data)

Transmitter battery life > 14 months

Sensor suitable to monitor cables rated up to 71A

Storage conditions: -25°C to +65°C

Relative humidity: 25% to 95% non-condensing

Operating temperature: 0°C to 40°C

Ingress protection: IP30



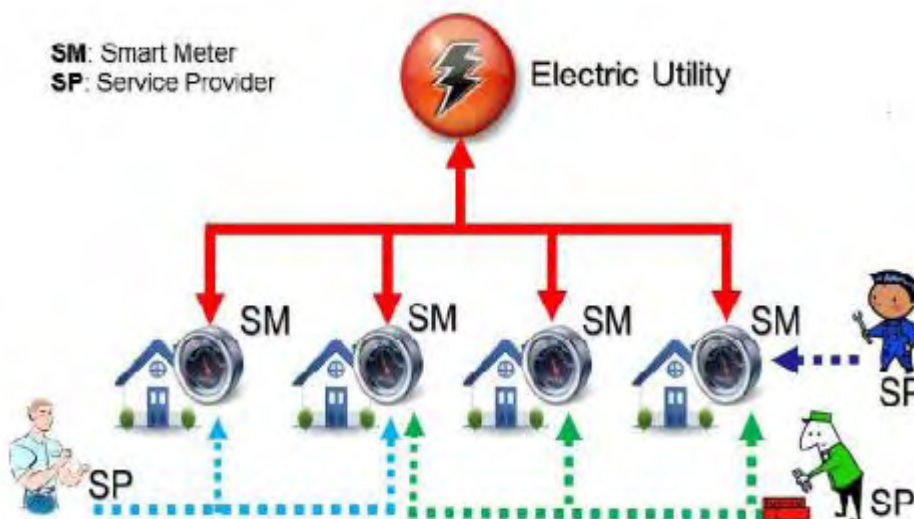
4.7. Έξυπνος μετρητής και προστασία (firewall)

Ο έξυπνος μετρητής μπορεί να αποτελέσει ένα φράγμα προστασίας που διασφαλίζει την ιδιωτικότητα της πληροφορίας που ανταλλάσσεται στο εσωτερικό και εξωτερικό μιας οικίας. Επίσης δίνει την δυνατότητα στον πάροχο υπηρεσιών να προσφέρει τεχνική βοήθεια, υποστήριξη και παρακολούθηση καθώς και να μεταφέρει οδηγίες προς τις συσκευές.

Το Home Area Network αποτελεί τον εσωτερικό κόσμο και περιλαμβάνει τις επικοινωνίες μεταξύ των έξυπνων συσκευών. Ο εξωτερικός κόσμος αποτελείται από το Wide Area Network και περιλαμβάνει επικοινωνίες μεταξύ πελατών, παρόχων και διαχειριστών του συστήματος.

Οι έξυπνοι μετρητές θα προσφέρουν ιδιωτικότητα στους χρήστες αποκρυπτογραφώντας ατομικά δεδομένα. Ο πάροχος αντί να επικοινωνεί κατευθείαν με τις συσκευές, αναζητά τον έξυπνο μετρητή και ανταλλάσσει πληροφορία με αυτόν ώστε να αποφασίσει ποιες συσκευές θα κλείσει ή θα περιορίσει την λειτουργία τους για την καλύτερη κατανάλωση ενέργειας ενώ ο πελάτης είναι αυτός που επιλέγει την προτεραιότητα των συσκευών του.

Σημαντικός είναι και ο ρόλος που μπορούν να παίξουν οι έξυπνοι μετρητές στη συντήρηση των συσκευών. Πιο συγκεκριμένα έχοντας υπογράψει ο καταναλωτής συμβόλαιο με τον εκάστοτε πάροχο θα υπάρχουν συσκευές που θα επικοινωνούν αποκλειστικά με αυτόν σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή λανθασμένης λειτουργίας αποστέλλοντας του τα κατάλληλα μηνύματα λάθους. Για παράδειγμα ένα ηλεκτρικό όχημα θα μπορεί να αποστέλει error messages στον μηχανικό συντηρητή που είναι υπεύθυνος για αυτό.



Ο πάροχος θα αποστέλει οδηγίες για την κατανάλωση στους έξυπνους μετρητές και θα συλλέγουν από αυτούς στοιχεία κατανάλωσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής, ο ηλεκτρικός πάροχος θα καθοδηγεί τους έξυπνους μετρητές να περιορίσουν τις καταναλώσεις

τους, προμηθεύοντάς τους με κίνητρα. Μετά, θα αποτελεί ευθύνη του έξυπνου μετρητή να διακανονίσει τη λειτουργία των οικιακών συσκευών του. Αυτή η προσέγγιση κρύβει τις ιδιωτικές συσκευές από τον πάροχο και προστατεύει την ιδιωτική ζωή των χρηστών.

Οι πάροχοι υπηρεσιών θα καταγράφονται σε έναν ηλεκτρικό πάροχο και θα παρέχουν ψηφιακά πιστοποιητικά για την αυθεντικότητα της ταυτότητάς τους καθώς και κλειδιά επικοινωνίας για να μπορούν εξυπηρετήσουν τους χρήστες. Έπειτα, θα μπορούν να υπογράψουν συμβόλαια με ιδιωτικούς χρήστες για τις συσκευές που θα υποστηρίζουν. Ο έξυπνος μετρητής θα περιορίσει την επικοινωνία των οικιακών συσκευών μόνο με παρόχους υπηρεσιών των οποίων τα πιστοποιητικά είναι έγκυρα.

4.8. Έξυπνοι μετρητές στο ελληνικό δίκτυο

Σύμφωνα με απόφαση του ΕΣΠΑ (Ειδική Γραμματεία Διαχείρισης Ταμειακών Προγραμμάτων) θα χρηματοδοθεί μελέτη, προμήθεια και εγκατάσταση 170.000 έξυπνων μετρητών τα επόμενα χρόνια στην Ελλάδα. Πιο αναλυτικά σύμφωνα με την απόφαση το έργο θα εκτελεστεί από την ΔΕΔΔΗΕ και περιλαμβάνει:

- 1) Σχεδιασμός, μελέτη, προμήθεια, εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία κέντρου τηλεμέτρησης (κύριου και εφεδρικού) μετρητικών δεδομένων και διαχείρισης φορτίου πελατών χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής δυναμικότητας 300.000 μετρητικών σημείων.
- 2) Προμήθεια, εγκατάσταση και λειτουργία 170.000 ηλεκτρονικών μετρητών με επικοινωνιακά μέσα (PLC και GSM/GPRS/3G), σε οικιακούς και μικρούς καταναλωτές, καθώς και μικρούς παραγωγούς του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, με ταυτόχρονη αποξήλωση των υφισταμένων μετρητικών διατάξεων. Οι ηλεκτρονικοί μετρητές θα είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλο τηλεχειριζόμενο-κλιμακούμενο διακόπτη φορτίου παροχής του κάθε πελάτη (οικιακής χρήσης), ώστε να είναι δυνατή η διαχείριση του φορτίου των παροχών.
- 3) Εκσυγχρονισμός διατάξεων τοποθέτησης μετρητικού και επικοινωνιακού εξοπλισμού, όπου απαιτηθεί για την ασφαλή λειτουργία τους.

5. Διαμόρφωση τιμής, δυναμική τιμολόγηση και ζήτηση

5.1 Εισαγωγή

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο έξυπνο δίκτυο παρουσιάζει η πολιτική τιμολόγησης που εφαρμόζεται στους πελάτες. Οι κλασικές πολιτικές τιμολόγησης του παραδοσιακού δικτύου έχουν αποδειχθεί μη αποτελεσματικές και μη ωφέλιμες για τους πελάτες. Σημαντικός ρόλο σε αυτό παίζει το γεγονός ότι δεν επιτρέπεται η αμφίδρομη επικοινωνία πελάτη και επιχείρησης παροχής ενέργειας.

Έρευνες έχουν δείξει ότι αυτή με αυτή την “επίπεδη” παραδοσιακή τιμολόγηση οι πελάτες καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε ώρες μεγάλης ζήτησης. Με τη δυναμική τιμολόγηση που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα Έξυπνο δίκτυο μπορεί να λυθεί αυτό το πρόβλημα ενισχύοντας την οικονομική αποδοτικότητα κατά τις ώρες αιχμής[24].

5.2. Δυναμική τιμολόγηση και ΗΠΑ

Η δυναμική τιμολόγηση (dynamic pricing) είναι δυνατότητα που προσφέρεται από τον πάροχο στον πελάτη να χρεώνεται με τιμές που διαφέρουν από ώρα σε ώρα και από μέρα σε μέρα. Με αυτή την πολιτική αναλαμβάνει ο καταναλωτής την ευθύνη της καταναλωσής του και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προκύψει μια πιο ωφέλιμη τιμολόγηση από το να έχει το ρίσκο για αυτή την χρέωση αποκλειστικά ο πάροχος της ενέργειας[24].

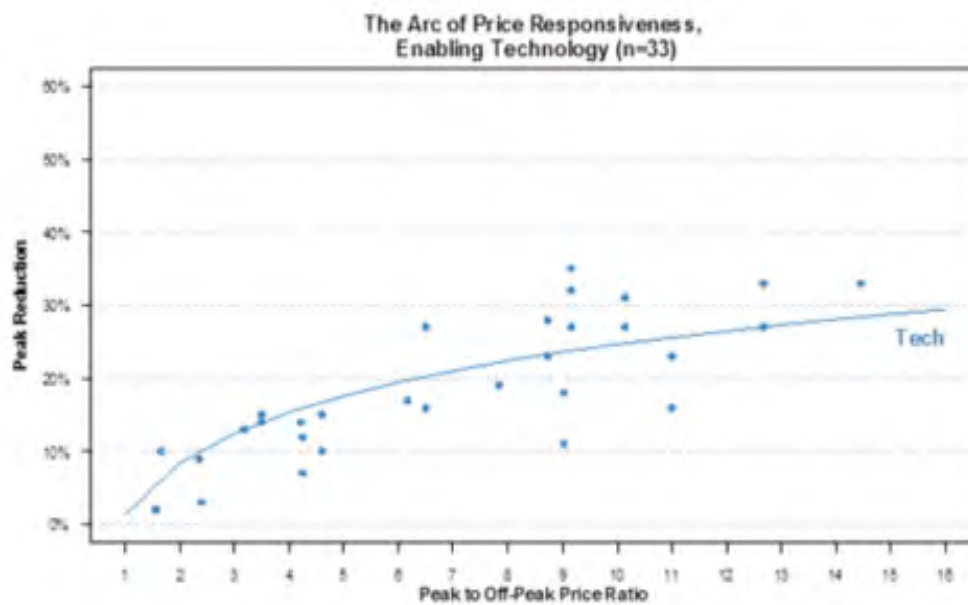
Ένα μεγάλο ζήτημα που τίθεται με τη δυναμική τιμολόγησης είναι κατά πόσο ο καταναλωτής ανταποκρίνεται σε αυτήν. Μια απάντηση σε αυτό δίνουν έρευνες και πιλοτικά προγράμματα που εφαρμόστηκαν στις Ηνωμένες πολιτείες. Στις ΗΠΑ το 30% των πελατών έχει εγκατεστημένο έξυπνο μετρητή στην οικία του. Παρατηρείται όμως πως μόνο το 1% χρησιμοποιεί δυναμική τιμολόγηση. Αποτελέσματα για την ανταπόκριση των καταναλωτών και πως μπορεί αυτή να αλλάξει φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα[24].:

- 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 στη αιχμή.
- Η αύξηση της ανταπόκρισης αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό, ακολουθώντας μια ασυμπτωτική καμπύλη κορεσμού παρά μια ευθεία

Η προαναφερθείσα καμπύλη φαίνεται στην εικόνα



Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε κάποια έξυπνη τεχνολογία οι πελάτες ανταποκρίνονταν περισσότερο στην τιμολόγηση. Η καμπύλη σε αυτή την περίπτωση έχει μια πιο αυξητική τάση όπω φαίνεται παρακάτω:



Τέλος άλλη έρευνα δείχνει ότι όταν χρησιμοποιήθηκε εξαιρετικά υψηλή τεχνολογία η ανταπόκριση ήταν τεράστια όπως φαίνεται από την καμπύλη:



Στο μέλλον οι ειδικοί αναμένουν να δουν ένα ποσοστό από 8% έως 20% αύξηση στη χρήση κάποιου είδους δυναμικής τιμολόγησης.

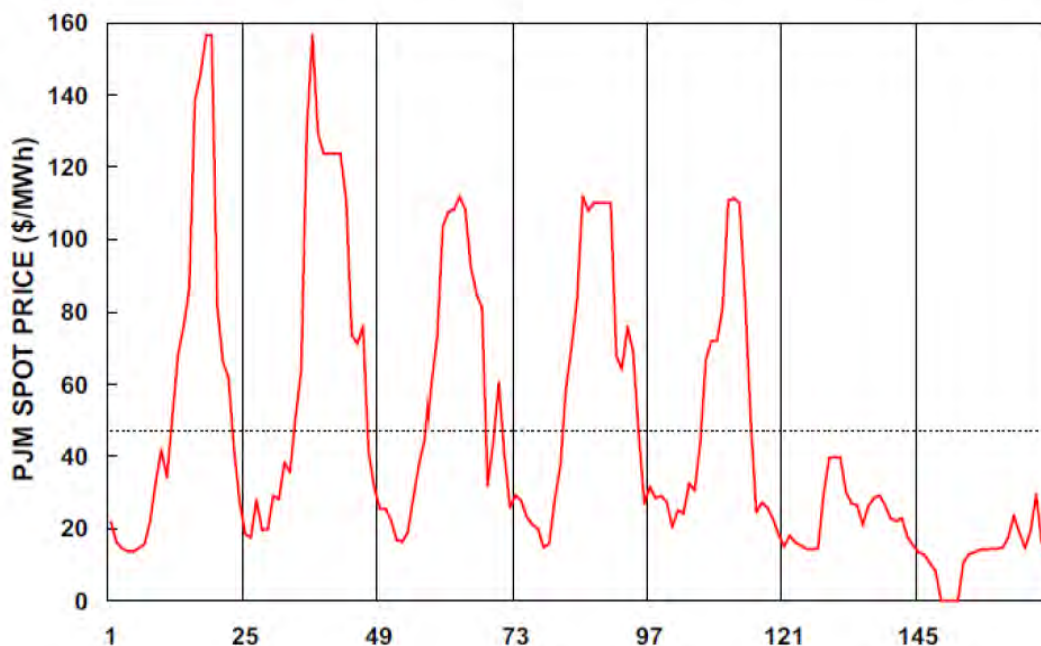
5.3. Μεταβολή τιμής

Η χονδρική αγορά της ηλεκτρικής δεν είναι αρκετά αποτελεσματική στον ανταγωνισμό επειδή οι πελάτες και τα φορτία τους αδυνατούν να συμμετέχουν σε αυτή. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλονται συχνά και σε τακτά χρονικά διαστήματα σε ποσοστό 30%-50%. Οι λόγοι που παρουσιάζεται αυτή η έντονη μεταβολή είναι:

- Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα το κόστος για μία μονάδα πυρηνικής ενέργειας είναι κάτω από 10\$/MWh ενώ για μία ορυκτών καυσίμων 100\$/MWh.
- Συχνή μεταβολή του φορτίου στο δίκτυο.
- Δεν είναι οικονομική η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και πρέπει να υπάρχει άμεση κατανάλωσή της τη στιγμή της παραγωγής της.

- Τα καιρικά φαινόμενα ή η απώλεια κάποιας μονάδας μπορούν να δημιουργήσουν ανισοροπία στην προσφορά και ζήτηση.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις όταν υπάρχει μικρό φορτίο η τιμή μπορεί να γίνει μηδενική ή και αρνητική. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι προτιμότερο απο οικονομική σκοπιά να λειτουργεί μία μονάδα παρά να σταματήσει και να επαναλειτουργήσει.

Στην παρακάτω καμπύλη διακρίνουμε τις μεταβολές στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει η εταιρεία PJM interconnection τον μήνα Ιούλιο για κάποιες πολιτείες των ΗΠΑ:



Στο διάγραμμα φαίνεται η τιμή να μεταβάλλεται από τα 20\$/MWh στα 158\$/MWh μόλις σε μια εβδομάδα. Η μέση τιμή κυμαίνεται στα 50\$/MWh περίπου και παρουσιάζει μια διασπορά στα 40\$/MWh. Σε ανεπτυγμένες χώρες παρατηρείται συνήθως αυτή η συμπεριφορά στην τιμή. Αυτό σημαίνει ότι είναι αναγκαίο η τιμή αυτή να χρεωθεί στον καταναλωτή.

5.4. Διαχείριση ζήτησης

Η διαχείριση ζήτησης(DSM) αφορά τις ενέργειες που κάνουν οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας για να μειώσουν και να ελέγχουν τη ζήτηση από τους καταναλωτές. Πιο συγκεκριμένα το DSM αναφέρεται σε προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας και έχει σκοπό την καθυστέρηση νέων υποσταθμών και την επέκταση του δικτύου. Στόχος των προγραμμάτων είναι η μεταβολή της

ποσότητας και των χρονικών πλαισίων κατανάλωσης της ενέργειας ώστε να επωφεληθούν και οι πάροχοι και οι καταναλωτές.

Οι ραγδαίες απαιτήσεις για ενέργεια τα τελευταία χρόνια, η συνεχής μεταβολή των τιμών, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιούργησαν αυτή την ανάγκη για διαχείριση της ζήτησης. Για τη επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων της διαχείρισης ζήτησης πρέπει να υλοποιηθούν τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας, η συνεχής εποπτεία και ο έλεγχος των εγκαταστάσεων, η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών και η διαφορετική τιμολόγηση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης[24].

Οι δύο κύριοι άξονες γύρω από τους οποίους κινείται το DSM είναι η **ενεργειακή αποδοτικότητα** (energy efficiency) και η **απόκριση ζήτησης** (demand response). Η ενεργειακή αποδοτικότητα αφορά τρόπους προώθησης εξελιγμένης τεχνολογίας στους καταναλωτές, ώστε να μειωθούν οι ανάγκες για ενέργεια χωρίς να αλλάξουν οι συνήθειες των πελατών της εταιρίας παροχής.

5.4.1 Ανάπτυξη και εφαρμογές του DSM

Για να αξιοποιηθεί η απόκριση ζήτησης είναι απαραίτητη η απλευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού. Αυτό θα παρέχει στους καταναλωτές την δυνατότητα να επιλέξουν μέσα από διακυμάνσεις των τιμών που προσφέρουν οι πάροχοι ενέργειας.

Κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί στην διαχείριση ζήτησης είναι[24].:

❖ **Νυχτερινή ηλεκτρική θέρμανση**

Η ηλεκτρική ενέργεια έχει χαμηλότερο κόστος το βράδυ και λόγω αυτού η νυχτερινή ηλεκτρική θέρμανση έχει ευρεία χρήση. Η μετατόπιση του φορτίου ηλεκτρικής θέρμανσης το βράδυ εξισοροπεί την ενεργειακή ζήτηση της ημέρας.

❖ **Άμεσος έλεγχος φορτίου**

Για άμεσο έλεγχο φορτίων εφαρμόζονται συστήματα για να σταματούν την λειτουργία συσκευών σε σύντομο χρονικό διάστημα όπως κλιματιστικά και θερμοσίφωνες. Οι καταναλωτές που κάνουν χρήση τετιου είδους προγραμμάτων αποζημιώνονται με μειωμένους λογαριασμούς.

❖ **Περιοριστές φορτίου**

Με την τεχνική αυτή ορίζεται ένα όριο κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ποιες συσκευές θα χρησιμοποιούνται.

❖ **Εμπορικά/ βιομηχανικά προγράμματα**

Εφαρμόζονται προγράμματα για τη διαχείριση μεγίστου φορτίου σε βιομηχανικούς και εμπορικούς πελάτες. Επικρατέστερα είναι τα προγράμματα διακοπής φορτίου ώστε να υπάρξουν υπηρεσίες εφεδρίας. Για τους εμπορικούς καταναλωτές προσφέρονται προγράμματα για έλεγχο του συστήματος εξαερισμού, κλιματισμού και φωτισμού.

❖ **Ρύθμιση συχνότητας**

Η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να κυμαίνεται στα 50Hz με μικρές αποκλίσεις. Για παράδειγμα, την απώλεια μιας μεγάλης γεννήτριας ακολουθεί σημαντική πτώση της συχνότητας και το σήμα αυτό πυροδοτεί μειώσεις φορτίων που έτσι συνεισφέρουν στην ρύθμιση της συχνότητας. Μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές λαμβάνουν μέρος σε τέτοιες δραστηριότητες.

❖ **Τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με την ώρα**

Οι διακυμάνσεις στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας αντανακλούν το κόστος παραγωγής της, δημιουργώντας κίνητρα για ολίσθηση φορτίου από περιόδους υψηλής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.

❖ **Έξυπνες συσκευές και έξυπνοι μετρητές**

Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών θα πρέπει να συνοδεύεται με την χρήση έξυπνων συσκευών. Θέτοντας ως στόχο την διευκόλυνση ενός τέτοιου συστήματος ενέργειας όπου κυριαρχούν οι συνεχείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού οικιακών καταναλωτών, ένα ηλεκτρονικό σύστημα αγοράς ενέργειας υποστηριζόμενο από το διαδίκτυο χρειάζεται να αναπτυχθεί.

6.Χρονοπρογραμματισμός μικροδικτύων

6.1 Το μοντέλο

Από τη στιγμή την οποία η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι κατανοημένη, χρειάζεται ένα αποκεντρωμένο μοντέλο για τη λειτουργία της αγοράς ώστε να βοηθηθούν τα μικροδίκτυα να έχουν έναν πιο ενεργό ρόλο και συμμετοχή στην ενεργειακή αγορά. Ένα τέτοιο μοντέλο δημιουργεί νέες προκλήσεις για το αντικείμενο των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται πολιτικές χρονοπρογραμματισμού για ένα τέτοιο μοντέλο σύμφωνα με την πηγή [20].

Οι βασικοί συντλεστές ενός τέτοιου μοντέλου είναι:

- Ο **Διαχειριστής της αγοράς ενέργειας**(Energy Market Operator), ο οποίος είναι είτε μέρος κάποιου μεγάλου παραγωγού ενέργειας, είτε κάποιου είδος δημόσιου ή ιδιωτικού φορέα.
- Ο **Συσσωρευτής** (ή Συναθροιστής), ο οποίος είναι μια υπηρεσία ή κάποιου είδους λογισμικού το οποίο συλλέγει δεδομένα και παίρνει αποφάσεις. Επίσης πραγματοποιεί και την επικοινωνία ανάμεσα στον διαχειριστή της αγοράς και το μικροδίκτυο.
- Τα **Μικροδίκτυα**, τα οποία αποθηκεύουν και καταναλώνουν ενέργεια. Παράδειγμα μικροδικτύου είναι οι βιομηχανίες και τα αιολικά πάρκα.

Στο έξυπνο δίκτυο ανήκουν τα μικροδίκτυα τα οποία με τη χρήση έξυπνων μετρητών στέλνουν δεδομένα στους VMGA και είναι ικανά να προβλέπουν την κατανάλωσης και παραγωγής για την επόμενη μέρα με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης.

Μια τιμολογιακή πολιτική δημιουργείται για την επόμενη μέρα από τον μεγάλου κλίμακας παραγωγό. Ο μεγάλος παραγωγός αγοράζει ενέργεια από μικρούς παραγωγούς και για να αποφύγει το λειτουργικό κόστος αγοράζει ενέργεια σε περιόδους υψηλής ζήτησης ώστε να αποφευχθεί η λειτουργία των βοηθητικών χαμηλής αποδοτικότητας εργοστασίων παραγωγής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η “ειδική τιμή”, δηλαδή προσφέρει την ενέργεια σε υψηλό κόστος. Το τιμολογιακό αυτό μοτίβο για την αγορά και την πώληση ενέργειας μεταδίδεται μέσω του Διαχειριστή Αγοράς στους Συναθροιστές των Εικονικών Μικροδικτύων (VMG Aggregators)[25].

6.2. Το πρόβλημα

Η παραγωγή και η κατανάλωση του μικροδικτύου έχει τα χαρακτηριστικά $MG=(X, Y, C)$. Όπου το $X = (X^1, X^2, \dots, X^{24})$ είναι η προβλεφθείσα παραγωγή στη διάρκεια μιας ημέρα στα χρονικά διαστήματα μιας ώρας. Το X είναι σε Kwh.

Το $Y = (Y^1, Y^2, \dots, Y^{24})$ είναι το εκτιμώμενο κόστος κατανάλωσης αντίστοιχα και C είναι η μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε Kwh.

Το τιμολογιακό πρότυπο της επόμενης ημέρας ορίζεται $P = (B, S)$ και μεταδίδεται από τον Διαχειριστή Αγοράς στους Συναθροιστές. Το $B = (B^1, B^2, \dots, B^{24})$ συμβολίζει τις τιμές (€ανά kWh) στις οποίες το μικρόδίκτυο μπορεί να αγοράσει ενέργεια από τον μεγάλης κλίμακας Παραγωγό ανά χρονικό διάστημα μιας ώρας. Το $S = (S^1, S^2, \dots, S^{24})$ είναι οι τιμές που μπορεί να πουλήσει το δίκτυο στον παραγωγό.

Οι αποφάσεις για την αγορά της επόμενης μέρας δίνονται απο το ζευγάρι

$MD=(E_b, E_s)$, όπου E_b είναι η ποσότητα της ενέργειας που θα πουλήσει το μικρόδίκτυο σε διάρκεια μιας ώρα και E_s η αντίστοιχη ποσότητα που θα αγοράσει. Αυτά ορίζονται ως $E_b = (E_b^1, E_b^2, \dots, E_b^{24})$ και $E_s = (E_s^1, E_s^2, \dots, E_s^{24})$.

Ο μεγάλης κλίμακας παραγωγός έχει επισυνάψει συμφωνία με το μικρόδίκτυο (Service Level Agreement -- SLA) για την αγοροπωλησια των ποσοτήτων ενέργειας για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Αν το δίκτυο δεν ανταποκριθεί στη σύμβαση τότε επιβάλλεται ποινή σε αυτό. Αυτή η ποινή μπορεί να είναι ότι το μικρόδίκτυο θα πρέπει να αγοράσει μία ποσότητα ενέργειας D_i σε τιμή B_i και να την πουλήσει σε τιμή S_i με κόστος $D_i (B_i - S_i)$, αν η πραγματική παραγωγή ενέργειας είναι μικρότερη από την προβλεφθείσα παραγωγή κατά την ποσότητα D_i . Όταν δεν υπάρχουν σφάλματα πρόβλεψης, το καθημερινό κόστος ενός μικροδικτύου αντιπροσωπεύεται από την παράμετρο COST, η οποία ορίζεται ως εξής.

$$COST = \sum_{i=1}^{24} [B^i * E_b^i] - \sum_{i=1}^{24} [S^i * E_s^i]$$

6.3. Χρονοπρογραμματισμός και διαχείριση αποθηκευτικής ικανότητας

Στην συνέχεια προτείνονται από τον συγγραφέα τέσσερις αλγόριθμοι για την αγοραπωλησία της ενέργειας στο μικρόδίκτυο. Κύριος σκοπός των αλγορίθμων είναι να ελαχιστοποιήσουν την παράμετρο COST. Οι αλγόριθμοι περιγράφονται παρακάτω[25]:

1.Uncapacited (Χωρίς Αποθήκευση): Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι αρκετά απλός και δεν περιλαμβάνει χρήση μπαταριών.Πιο συγκεκριμένα το

μικροδίκτυο αγοράζει όση ενέργεια χρειάζεται και πουλάει όση ενέργεια παράγει.

2.Selfie: Σε αυτή την περίπτωση το μικροδίκτυο κάνει ενέργειες επιδιώκοντας την αυτάρκειά του. Όταν προκύπτει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωσή τότε το μικροδίκτυο αποθηκεύει την παραπάνω ενέργεια. Αν οι ωριαίες ανάγκες του δεν καλύπτονται και η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή τότε το μικροδίκτυο αγοράζει ενέργεια. Αν γεμίσουν οι μπαταρίες του συστήματος και η ωριαία παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ωριαία κατανάλωση ενέργειας, τότε προκύπτει ένα ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας το οποίο το μικροδίκτυο το διαθέτει προς πώληση.

3.Sniper: Πριν την περίοδο υψηλής ζήτησης το μικροδίκτυο αγοράζει όση ενέργεια έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει. Όταν υπάρξει το συμβάν ειδικής τιμής πουλάει αυτή την ενέργεια σε υψηλότερη κόστος.

4.Stocky: Το μικροδίκτυο αγοράζει όση ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες του συστήματος πριν την περίοδο της ζώνης υψηλής ζήτησης. Διαθέτει αυτή την ενέργεια στην περίοδο υψηλής ζήτησης έτσι ώστε να αποφύγει να αγοράσει ενέργεια όταν αυτή έχει υψηλό κόστος.

Στην συνέχεια ακολουθεί ψευδοκώδικας που περιγράφει τους παραπάνω αλγορίθμους:

Algorithm 1 Uncapacited

```

1: procedure UNCAPACITED
2:   πούλησε όση ενέργεια παράγεις
3:   αγόρασε όση ενέργεια χρειάζεσαι
4:   υπολόγισε έσοδα
5:   υπολόγισε έξοδα
6:   κόστος  $\leftarrow$  έξοδα - έσοδα
7:   return κόστος

```

Algorithm 2 Selfie

```

1: procedure SELFIE(k,l)
2:   for κάθε ώρα του διαστήματος [k,l] do
3:     if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας then
4:       if το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας χωράει στις μπαταρίες then
5:         αποθήκευσέ το στις μπαταρίες του συστήματος
6:       else
7:         αποθήκευσε όση ενέργεια μπορείς
8:         πούλησε την υπόλοιπη ενέργεια
9:     else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
10:      if το ωριαίο έλλειμμα μπορεί να καλυφθεί από τις μπαταρίες
11:    then
12:      κάλυψε το από τις μπαταρίες του συστήματος
13:    else
14:      κάλυψε όσο έλλειμμα μπορείς από τις μπαταρίες
15:      αγόρασε την υπόλοιπη ενέργεια
16:    else
17:      διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών ως έχει
18:      υπολόγισε έσοδα
19:      υπολόγισε έξοδα
20:      κόστος  $\leftarrow$  έξοδα - έσοδα
21:      return κόστος

```

Algorithm 3 Sniper

```

1: procedure SNIPER
2:   for κάθε ώρα στο διάστημα [1, specialPriceEvent - 2] do
3:     if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
4:       if χωράει στις μπαταρίες του συστήματος then
5:         αποθήκευσε το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
6:       else
7:         γέμισε τις μπαταρίες του συστήματος
8:         πούλησε ό,τι απομένει από το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
9:     else if αν υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
10:      διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών ως έχει
11:      αγόρασε το έλλειμμα ενέργειας
12:    else
13:      διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών ως έχει
14:  if βρισκόμαστε μία ώρα πριν το specialPriceEvent then
15:    if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
16:      if χωράει στις μπαταρίες then
17:        αποθήκευσε το στις μπαταρίες
18:        αγόρασε όση ενέργεια χρειάζεται για να γεμίσουν οι μπα-
19:  ταρίες
20:      else
21:        γέμισε τις μπαταρίες
22:        πούλησε ό,τι απομένει από το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
23:    else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
24:      αγόρασε το έλλειμμα ενέργειας και όση ενέργεια χρειάζεται για
25:      να γεμίσουν οι μπαταρίες
26:    else
27:      αγόρασε όση ενέργεια χρειάζεται για να γεμίσουν οι μπαταρίες
28:  if βρισκόμαστε στην ώρα του specialPriceEvent then
29:    if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
30:      πούλησε την ενέργεια στις μπαταρίες και το ωριαίο πλεόνασμα
31:      ενέργειας
32:    else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
33:      αγόρασε το ωριαίο έλλειμμα ενέργειας
34:      πούλησε την ενέργεια στις μπαταρίες
35:    else
36:      πούλησε την ενέργεια στις μπαταρίες
37:  κόστοςSelfie  $\leftarrow$  Selfie(specialPriceEvent + 1, 24)
38:  υπολόγισε έσοδα
39:  υπολόγισε έξοδα
40:  κόστος  $\leftarrow$  έξοδα - έσοδα + κόστοςSelfie
41:  return κόστος

```

Algorithm 4 Stocky

```

1: procedure Stocky
2:   for κάθε ώρα στο διάστημα [1,startPeakDemandZone - 2] do
3:     if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
4:       if το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας χωράει στις μπαταρίες then
5:         αποθήκευσέ το στις μπαταρίες
6:       else
7:         αποθήκευσε όσο είναι δυνατό
8:         πούλησε ό,τι μένει από το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
9:     else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
10:      αγόρασε το έλλειμμα ενέργειας
11:      διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών
12:    else
13:      διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών
14:  if βρισκόμαστε 1 ώρα πριν την έναρξη της peakDemandZone then
15:    if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
16:      if το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας χωράει στις μπαταρίες then
17:        αποθήκευσε το στις μπαταρίες
18:      else
19:        αποθήκευσε ενέργεια μέχρι να γεμίσουν οι μπαταρίες
20:        πούλησε ό,τι μένει από το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
21:      else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
22:        αγόρασε όση ενέργεια χρειάζεται για να γεμίσουν οι μπαταρίες
23:        και το ωριαίο έλλειμμα ενέργειας
24:      else
25:        αγόρασε όση ενέργεια χρειάζεται για να γεμίσουν οι μπαταρίες
26:        του συστήματος
27:    for κάθε ώρα στο peakDemandZone do
28:      if υπάρχει ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας then
29:        πούλησε το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας
30:      else if υπάρχει ωριαίο έλλειμμα ενέργειας then
31:        if μπορεί να καλυφθεί από τις μπαταρίες then
32:          κάλυψέ το
33:        else
34:          κάλυψε το ωριαίο έλλειμμα ενέργειας με όση ενέργεια μπο-
35:          ρείς από τις μπαταρίες
36:          την υπόλοιπη ενέργεια αγόρασε τη (υποχρεωτικά)
37:        else
38:          διατήρησε την κατάσταση των μπαταριών
39:    κόστοςSelfie  $\leftarrow$  Selfie(endPeakDemandZone + 1,24)
40:    υπολόγισε έσοδα
41:    υπολόγισε έξοδα
42:    κόστος  $\leftarrow$  έξοδα - έσοδα + κόστοςSelfie
43:  return κόστος

```

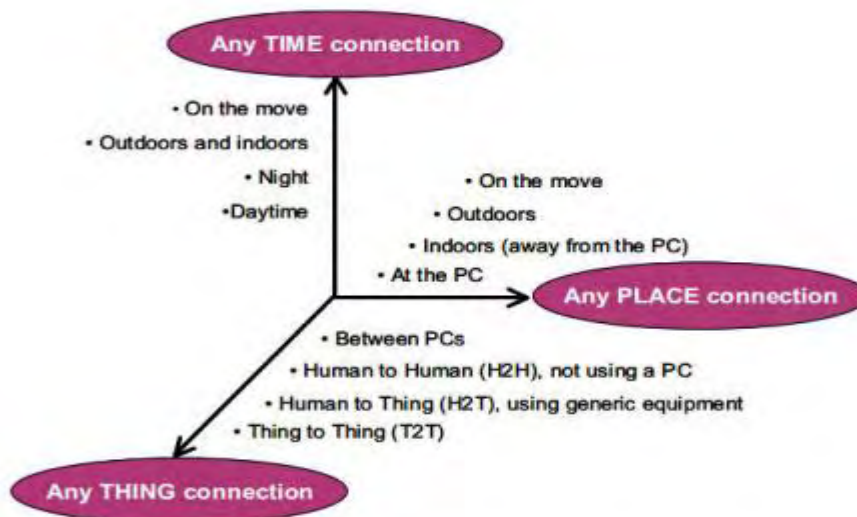
7.Εξυπνα δίκτυα και internet of things

Το διαδίκτυο των πραγμάτων(internet of things-iot) αποτελεί μια τεχνολογία που ήδη έχει αρχίσει να μπαίνει στις ζωές μας και είναι πολλά υποσχόμενο για το μέλλον. Πρόκειται για μία κατάσταση κατά την οποία διάφορα αντικείμενα όπως συσκευές, κινητά τηλέφωνα, ρούχα θα είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο και μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα.

Στην ιδέα του Ιοt χρησιμοποιούνται μικροί υπολογιστικοί αισθητήρες για να γίνεται η διάδοση της πληροφορίας και για να εξυπηρετηθούν οι ειδικοί σκοποί κάθε αντικειμένου. Η φιλοσοφία του διαδικτύου των πραγμάτων είναι βασισμένη κυρίως στο πρωτόκολλο IP ασύρματης η ενσύρματης επικοινωνίας ή και της παραδοσιακής υπηρεσίας του SMS.

Πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι πρόκειται για μία διαφορετική έννοια από αυτή της επικοινωνίας μηχανή με μηχανή (M2M) καθώς αυτή αποτελεί υποσύνολό του. Πιο συγκεκριμένα το ΙοT αφορά την αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα γύρω μας, ακόμη και με στατικά μη-έξυπνα αντικείμενα, και την αύξηση τέτοιων αλληλεπιδράσεων σε πλαίσια που παρέχονται από τη γεωγραφική θέση, το χρόνο και ούτω καθ'εξής. Στο διαδίκτυο των πραγμάτων συγκαταλέγονται και μη έξυπνες συσκευές για παράδειγμα μέσω ενός κινητού τηλεφώνου, αρκεί αυτό να έχει πρόσβαση στο δίκτυο.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το όραμα της τεχνολογίας των πραγμάτων περιγράφεται από την φράση: «κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση» για «κάθε-έναν» στο «κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση» για «κάθε-τι» το οποίο φαίνεται στην εικόνα 7.1 [26].



Σχήμα 7.1-όραμα της τεχνολογίας των πραγμάτων

Τα τρία κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας των πραγμάτων είναι [26]:

- 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 35 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.

7.1 Κύριες τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων αποτελεί μια μεγάλη εξέλιξη του τομέα της πληροφορικής και η ανάπτυξή του χρειάζεται να υποστηριχτεί από διάφορες καινοτόμες τεχνολογίες. Πιο συγκεκριμένα απο τεχνολογίες επικοινωνιών μικρών και μεγάλων αποστάσεων, αν ίχνευσης σήματος καθώς και έξυπνη ανάλυση και διαχείριση. Οι κύριες τεχνολογίες που θα υποστηρίξουν το IoT είναι οι ραδιοσυχνότητες RFID, τα δίκτυα αισθητήρων WSN και τα παραδοσιακά δίκτυα LAN/WAN τα οποία φαίνονται και στο σχήμα 7.2.



Σχήμα 7.2- Βασικές τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων.

7.2 Αρχιτεκτονική του IoT

Το IoT είναι χωρισμένο σε τρία στρώματα ή αλλιώς επίπεδα. Αυτά τα στρώματα είναι: το στρώμα αντίληψης (perception layer), το στρώμα δικτύου (network layer) και το στρώμα εφαρμογής (application layer).

Στο πρώτο στρώμα της αντίληψης γίνεται η ταυτοποίηση και η αντίληψη των αντικειμένων, καθώς και η συλλογή των απληροφοριών. Χρησιμοποιούνται τεχνολογίες RFID, κάμερες, GPS, όλα τα είδη των αισθητήρων, δίκτυο αισθητήρων, M2M τερματικά, πύλες αισθητήρων (gateway).

Στο επόμενο επίπεδο στο στρώμα του δικτύου το ποίο είναι και το πιο ώρμο κομμάτι του δεν έχει μόνο την ικανότητα της λειτουργίας δικτύου, αλλά θα πρέπει να βελτιώνει την ικανότητα της λειτουργίας πληροφοριών. Θα μπορούσαμε να το χαρακτηρίσουμε σαν το νευρικό κέντρο και εγκέφαλος της όλης δομής καθώς μεταφέρει δεδομένα και πληροφορίες από το στρώμα αντίληψης σε αυτό της εφαρμογής.

Το τελευταίο στρώμα της εφαρμογής περιλαμβάνει είδη συστημάτων εφαρμογών, με κύριες λειτουργίες τη σύγκλιση, τη μετατροπή, την ανάλυση και την ανταλλαγή πληροφοριών, καθώς και πλατφόρμες υποστήριξης για τους χρήστες. Ταυτόχρονα, το στρώμα προσφέρει διεπαφή εφαρμογής του διαδικτύου των πραγμάτων και υπηρεσίες εφαρμογής για τις συσκευές και τα τερματικά των χρηστών. Το επίπεδο αυτό είναι η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με την τεχνογνωσία της βιομηχανίας για να επιτευχθεί μια ευρεία σειρά ευφυών λύσεων εφαρμογών. Μέσω του στρώματος αυτού, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να επιτύχει, τελικά, την ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών με τη βιομηχανία. Θα έχει μεγάλη επίδραση στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Το κεντρικό στοιχείο του στρώματος εφαρμογής είναι η ανταλλαγή πληροφοριών και η ασφάλεια των πληροφοριών.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ωστόσο ότι δεν υπάρχει κάποια κοινή αποδεκτή αρχιτεκτονική του διαδικτύου των πραγμάτων. Η πιο αντιπροσωπευτική δομή είναι αυτή της EPC Global της Ευρώπης και τις Η.Π.Α και το ιαπωνικό UID (Ubiquitous ID) IoT σύστημα.

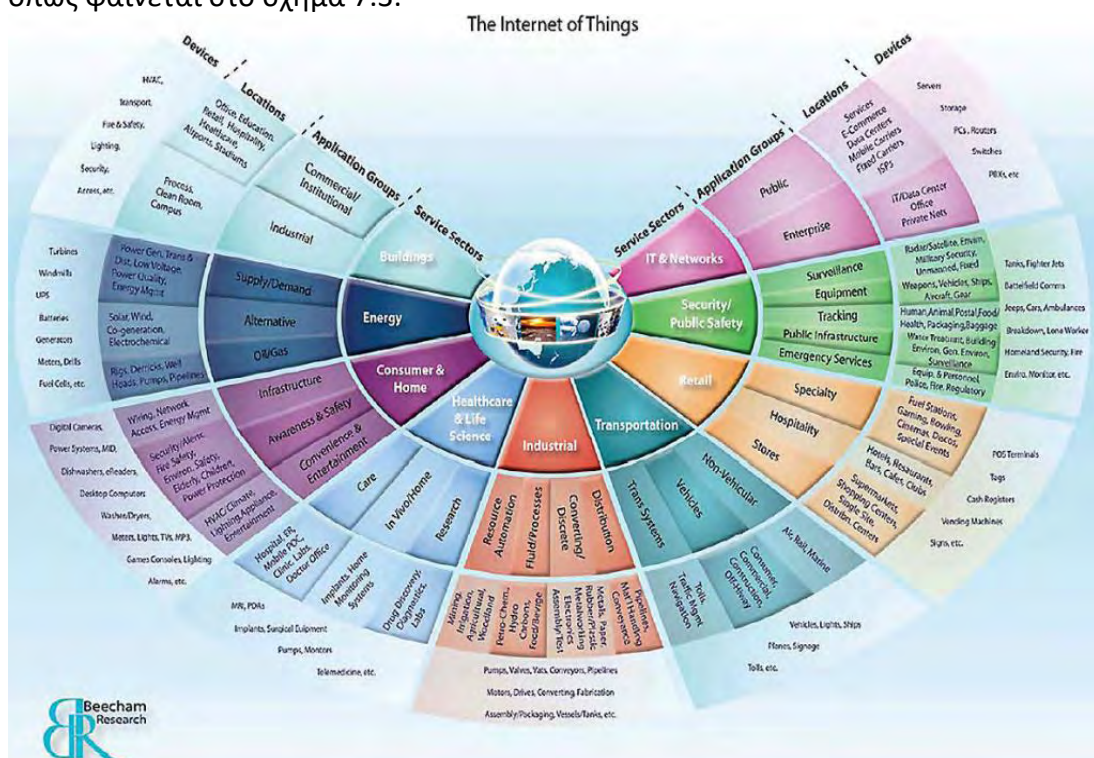
7.3 Γενικές εφαρμογές και εφαρμογές στο έξυπνο δίκτυο

Αν και το διαδίκτυο των πραγμάτων βρίσκεται σε ένα πρώιμο στάδιο ακόμα έχει καταφέρει να σημειώσει επιτυχία σε επίπεδο υλικοτεχνικής δομής σε στρατιωτικά θέματα, στην παρακολούθηση και τη διαχείριση, στην ιατρική φροντίδα κ.ά.

Θα πρέπει να παρέχονται οι ακόλουθες υπηρεσίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του [26]:

- Υπηρεσία Δικτύωσης: αναγνώριση/ταυτοποίηση, επικοινωνία και τοποθέτηση αγαθών .
- Πληροφοριακή Υπηρεσία: συλλογή, αποθήκευση και αναζήτηση πληροφοριών .
- Υπηρεσία Λειτουργίας: απομακρυσμένη ρύθμιση παραμέτρων, παρακολούθηση, λειτουργία και έλεγχος.
- Υπηρεσία Ασφάλειας: διαχείριση χρηστών, έλεγχος πρόσβασης, εκδήλωση συναγερμού, ανίχνευση εισβολής, πρόληψη επιθέσεων.
- Υπηρεσία Διαχείρισης: διάγνωση βλαβών, βελτιστοποίηση απόδοσης, αναβαθμίσεις του συστήματος, υπηρεσίες διαχείρισης της τιμολόγησης.

Στο μέλλον προβλέπεται να η επέκταση αυτών των υπηρεσιών σε ποικίλους τομείς όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3-Πιθανοί μελλοντικοί τομείς εφαρμογής υπηρεσιών του IoT

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή ενέργειας και τη κατανάλωσή της. Το διαδίκτυο φαίνεται πως θα παίξει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση αυτών των συνιστωσών τα επόμενα χρόνια και έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στα έξυπνα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας της επόμενης γενιάς.

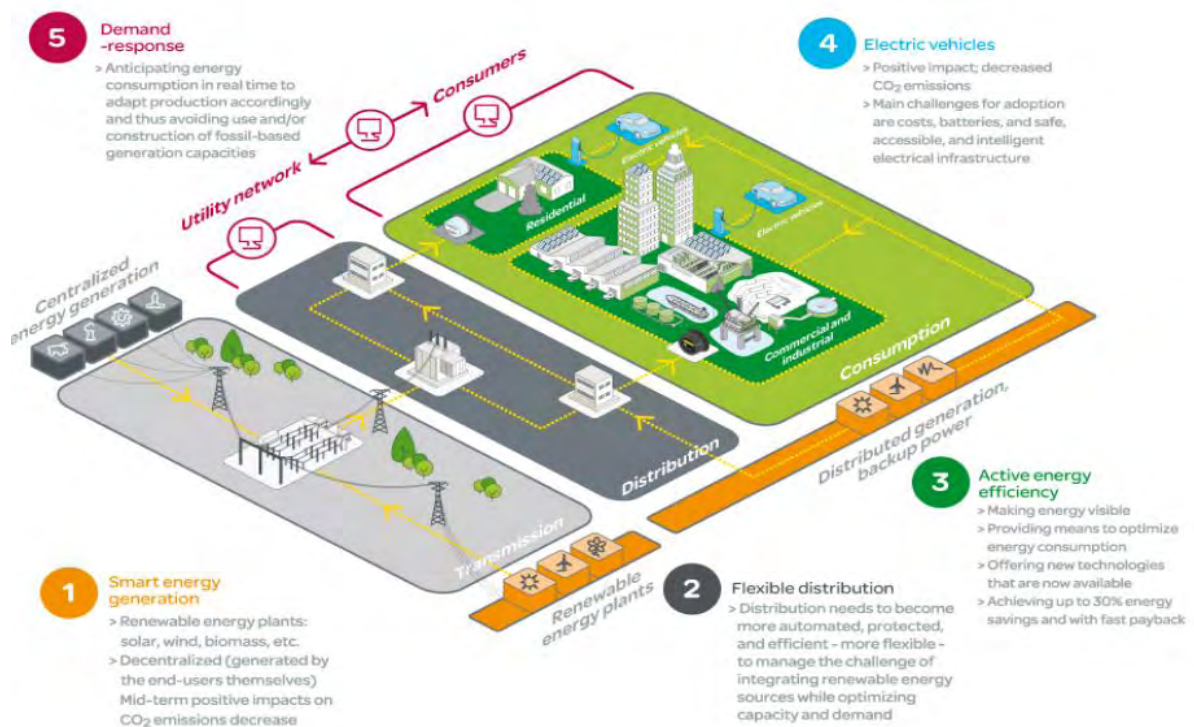
Επομένως το IoT θα μπορούσε να υποστηρίξει τα έξυπνα δίκτυα στις παρακάτω περιπτώσεις [26]:

- ❖ Στον τομέα της παραγωγής ενέργειας , το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της μονάδας, των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, της περιοχής των σταθμών παραγωγής, των ρύπων και των εκπομπών αερίων, της ενεργειακής κατανάλωσης, του υλικού του άνθρακα, της αιολικής

μονάδας παραγωγής, των φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, της αποθήκευσης ενέργειας, της διασύνδεσης ηλεκτρικής ενέργειας κοκ.

- ❖ Το IoT επίσης χρησιμοποιείται ευρέως για την παρακολούθηση των γραμμών μεταφοράς, για την προστασία των πύργων, για έξυπνους υποσταθμούς, για την αυτοματοποίηση της διανομής, για την παρακολούθηση της κατάστασης διανομής, για τη διαχείριση της λειτουργίας και του εξοπλισμού.
- ❖ Το IoT χρησιμοποιείται κυρίως για τους έξυπνους μετρητές και τη μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας, τη σύγκλιση του πολύδικτύου, για τα ηλεκτρικά οχήματα και τη φόρτισή τους, για την παρακολούθηση και διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης, για τη διαχείριση ζήτησης (DSM), κ.ά.

Στο σχήμα 7.4 φαίνεται πως μια δομή του IoT μπορεί να εφαρμοστεί στο έξυπνο δίκτυο.



Σχήμα 7.4-Δομή έξυπνου δικτύου σχεδιασμένη πάνω στις τεχνολογίες και δυνατότητες του διαδικτύου των πραγμάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2001
- [2] Β.Κ. Παπαδιάς, Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1985
- [3] ΑΔΜΗΕ, Διαθέσιμο στο link: <http://www.admie.gr/>
- [4] ΑΔΜΗΕ, Δεκαετής Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2017-2026, Αθήνα: ΑΔΜΗΕ, 2016
- [5] J. Ekanayake, K. Liyanage, J. Wu, Smart Grid Technology and Applications, Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2012
- [6] J. Grainger, W. Stevenson Jr., Power System Analysis, New York: McGraw – Hill, 1994
- [7] Η. Κυριακίδης, Διεσπαρμένη Παραγωγή, Διαθέσιμο στο link: <http://www.eng.ucy.ac.cy/elias/courses/ECE681/presentations/Distributed%20Generation.pdf>
- [8] Σ. Παπαθανασίου, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [9] E. Commission and Brussels, Smart Grids: From Innovation to Deployment, COM (2011) 202 final, 2011
- [10] EU Commission Task Force for Smart Grids, Functionalities for Smart Grids and Smart Meters Final Deliverable, pp. 1- 69, 2010
- [11] X. Li, I. Lille, Securing Smart Grid: Cyber Attacks, Countermeasures, and Challenges, IEEE Communications Magazine, 50(8), pp. 38-45, 2012
- [12] CEN CENELEC ETSI, Final Report Standards for Smart Grids, 2011
- [13] US Department of Commerce, NIST Special Publication 1108 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, 2010
- [14] US Department of Energy, Communications Requirements of Smart Grid Technologies, 2010
- [15] Γ. Ανδρίτσου, Αναβάθμιση σε ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο και διαχείριση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2016
- [16] F. Li, W. Qiao, H. Sun, H. Wan, J. Wang, Y. Xia, Z. Xu, P. Zhang, Smart Transmission Grid: Vision and Framework, IEEE Transactions on Smart Grid, 1(2), pp. 168-177, 2010

- [17] Ε.Θ. Ζώτου, Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids), Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012
- [18] C. Rudin, Machine Learning for the New York City Power Grid, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 34(2), pp. 328-345, 2012
- [19] R.N. Anderson, A. Boulanger, W.B. Powell, W. Scott, Adaptive Stochastic Control for the Smart Grid, Proceedings of the IEEE, 99(6), pp. 1098-1115, 2011
- [20] Z.M. Fadlullah, M.M. Fouda, N. Kato, X. Shen, Y. Nozaki, An early warning system against malicious activities for smart grid communications, IEEE Network, 25(5), pp. 50-55, 2011
- [21] Λωτίδης κυριάκος, Έλυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Καβάλα: ΑΤΕΙ Καβάλας 2013
- [22] Θαλασσινού Μαριάντζελ, Έξυπνοι ψηφιακοί μετρητές ηλεκτρισμού, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο 2010
- [23] OWL, Διαθέσιμο link: <http://www.theowl.com/index.php/owl-intuition/>
- [24] Λαμπρίδης Ιωάννης, Δυναμική τιμολόγηση στα έξυπνα δίκτυα, Διπλωματική Εργασία, Κρήτη: ΑΤΕΙ Κρήτης 2015
- [25] Παπαδάκης Δ. Νικόλαος, Μελλοντικά Ηλεκτρικά Δίκτυα και Μικροδίκτυα: Αλγόριθμοι Διαχείρισης Πόρων, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών 2016.
- [26] Ζαππής Σωκράτη, Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών 2015