



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

## **Επισκόπηση των Έξυπνων Ενεργειακών Δικτύων**

Διπλωματική Εργασία

Χαράλαμπος Παυλίδης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2019



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

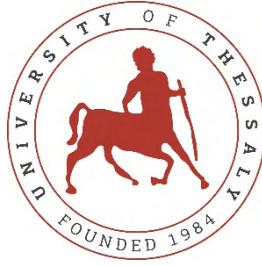
## **Επισκόπηση των Έξυπνων Ενεργειακών Δικτύων**

Διπλωματική Εργασία

Χαράλαμπος Παυλίδης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2019



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

## **An Overview of Smart Grids**

Diploma Thesis

Charalampos Pavlidis

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

Volos 2019

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτριο Μπαργιώτα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, τους γονείς μου για τη δυνατότητα που μου έδωσαν να διεκπεραιώσω τις σπουδές μου και τις Νατάσα και Κωνσταντίνα για την πολύτιμη βοήθειά τους.

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Χαράλαμπος Παυλίδης  
Ημερομηνία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο, το οποίο θεωρείται η εξέλιξη του παρόντος ηλεκτρικού δικτύου, χρησιμοποιεί αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφορίες για τη δημιουργία ενός καταναμημένου και αυτοματοποιημένου δικτύου παροχής ενέργειας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η επισκόπηση αυτών των νέων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, σημειώνεται η ανάγκη για μετάβαση από το τρέχον δίκτυο στο έξυπνο δίκτυο, καθώς οι αδυναμίες του παρόντος υπερσχύουν έναντι των ενδεχόμενων πλεονεκτημάτων. Στη συνέχεια, εξετάζονται τα τρία επιμέρους συστήματα του, το έξυπνο σύστημα υποδομής, το έξυπνο σύστημα διαχείρισης και το έξυπνο σύστημα προστασίας. Αναλυτικότερα, διερευνώνται τα υποσυστήματα των παραπάνω συστημάτων και εν κατακλείδι, παρουσιάζονται χρήσιμα συμπεράσματα και προτάσεις για αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών, ώστε η μελλοντική έρευνα να συνεισφέρει στην εξέλιξη και στην περαιτέρω ανάπτυξη των Έξυπνων Ενεργειακών Δικτύων.

## **ABSTRACT**

The Smart Grid, which is considered to be the development of the current power grid, uses two-way flows of electricity and information to create a distributed and automated power supply network. This diploma thesis presents an overview of these new networks. Especially, there is a need to move from the current network to the smart grid, as the weaknesses of the present override the potential benefits. Subsequently, the three systems, the smart infrastructure system, the smart management system and the smart protection system are being examined. Analytically, the subsystems of the above systems are explored and finally, useful conclusions and suggestions for exploitation of the new technologies are presented so that future research contributes to the evolution and further development of Smart Grids.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>1</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Εισαγωγή .....	<b>1</b>
1.2 Επισκόπηση της Διπλωματικής Εργασίας .....	<b>3</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<b>4</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ SMART GRIDS</b> .....	<b>4</b>
2.1 Το παρόν δίκτυο.....	<b>4</b>
2.2 Αδυναμίες και Προκλήσεις του τρέχοντος ηλεκτρικού δικτύου .....	<b>5</b>
2.3 Προκλήσεις από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	<b>7</b>
2.4 Εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	<b>9</b>
2.4.1. Η Δομή των Έξυπνων Δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	<b>12</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<b>15</b>
<b>ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b> .....	<b>15</b>
3.1 Έξυπνο Υποσύστημα Ενέργειας .....	<b>15</b>
3.1.1 Δομή Έξυπνου Υποσυστήματος Ενέργειας .....	<b>15</b>
3.1.2. Παραδείγματα στο Έξυπνο Δίκτυο .....	<b>20</b>
3.2 Έξυπνο Υποσύστημα Πληροφορίας .....	<b>23</b>
3.2.1 Έξυπνοι μετρητές .....	<b>24</b>
3.2.2 Εξέλιξη Μετρητικών Συστημάτων.....	<b>29</b>
3.2.3 Έξυπνη παρακολούθηση.....	<b>32</b>
3.2.4 Συστήματα παρακολούθησης βασισμένα σε Internet of Things (IoT) .....	<b>35</b>
3.3 Έξυπνο Υποσύστημα Επικοινωνίας.....	<b>39</b>
3.3.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών.....	<b>39</b>
3.3.2 Απαιτήσεις Επικοινωνίας.....	<b>47</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	<b>51</b>
<b>ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ</b> .....	<b>51</b>
4.1 Απόκριση Ζήτησης – Demand Response (DR).....	<b>51</b>
4.1.1 Προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα .....	<b>54</b>



4.1.2 Προγράμματα βασισμένα σε τιμές.....	56
<b>4.2 Πιθανά οφέλη της Απόκρισης Ζήτησης στα Έξυπνα Δίκτυα .....</b>	<b>60</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>63</b>
<b>ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>63</b>
5.1 Αξιοπιστία Συστήματος και Προστασία Αποτυχίας .....	63
5.2 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα.....	65
5.2.1 Θέματα Ασφάλειας στα Smart Grids .....	65
5.2.2 Θέματα Ιδιωτικού Απορρήτου στα Smart Grids.....	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>76</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>76</b>
6.1 Χρήσιμα Συμπεράσματα .....	76
6.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	78
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>80</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρισμός αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του σύγχρονου πολιτισμού. Στα περισσότερα μέρη του κόσμου η καθημερινότητα εξαρτάται άμεσα και σε μεγάλο βαθμό από την ηλεκτρική ενέργεια, κι έτσι είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς τη σύγχρονη ζωή χωρίς αυτήν. Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η πιο θεμελιώδης υποδομή της κοινωνίας, καθώς όλες οι άλλες σημαντικές υποδομές, όπως το δίκτυο νερού, τα δίκτυα μεταφορών και τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών εξαρτώνται από αυτό. Στο παρελθόν, μεγάλης κλίμακας διακοπές ρεύματος έχουν αναδείξει τη σημαντικότητα που έχει ο ηλεκτρισμός στη διατήρηση της ποιότητας ζωής και της παραγωγικότητας. Επίσης, έχει αναδειχθεί η έντονη καταπόνηση του δικτύου και το πόσο ευάλωτο είναι σε τέτοιες διαταραχές.

Είναι φανερό ότι η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να μετασχηματιστεί προκειμένου να αντιμετωπίσει τις ανάγκες της σύγχρονης ψηφιακής κοινωνίας. Οι καταναλωτές απαιτούν υψηλότερη ποιότητα ενέργειας, αξιοπιστία και ευρύτερη επιλογή πρόσθετων υπηρεσιών και ταυτόχρονα θέλουν οι τιμές να είναι χαμηλότερες. Επιπλέον, ο αυξανόμενος πληθυσμός της γης και η ολοένα και αυξανόμενη τάση εξάρτησης από την ενέργεια θα απαιτήσουν νέες τεχνολογίες που θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο όγκο ενεργειακών πόρων. Σύμφωνα με μία εκτίμηση [1], λέγεται ότι μέχρι το 2050 η παγκόσμια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος θα πρέπει να τριπλασιαστεί για να συμβαδίζει με την αυξανόμενη ζήτηση.

Η εποχή των ορυκτών καυσίμων σύντομα θα φτάσει στο τέλος της, καθώς οι φυσικοί πόροι για την παραγωγή ενέργειας είναι πλέον περιορισμένοι. Επιπρόσθετα, λόγω της ρύπανσης του περιβάλλοντος, και κατά συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, γίνεται αναγκαία η αλλαγή του τρόπου της παραγωγής ενέργειας, ενσωματώνοντας Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως αυτές που προέρχονται από το ήλιο, τον αέρα και το νερό, στο υπάρχον δίκτυο [2]. Στα πλαίσια της άμεση μετάβασης στην παραγωγή ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, έχουν δοθεί κίνητρα για την κατασκευή τοπικών μικρών μονάδων παραγωγής.

Αυτός ο διαφορετικός τύπος παραγωγής ενέργειας ονομάζεται Διεσπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) και μετατρέπει τα παρόντα παθητικά δίκτυα σε ενεργά δίκτυα διπλής κατεύθυνσης. Τα Ενεργά Δίκτυα Διανομής (Active Distribution Networks - ADN) είναι ευέλικτα δίκτυα, τα οποία παρέχουν τοπικό και συντονισμένο έλεγχο τάσης, ροών και σφαλμάτων. Για να παρέχεται ποιοτική ενέργεια από τις ΑΠΕ, τα ADN οφείλουν να ενσωματώσουν νέες τεχνολογίες. Ενδεικτικό παράδειγμα μετάβασης από κεντρικό έλεγχο σε κατανεμημένο έλεγχο, αποτελούν τα μικροδίκτυα (microgrids), τα οποία ανήκουν κι αυτά στα Ενεργά Δίκτυα Διανομής και καλύπτουν τις τοπικές ενεργειακές ανάγκες με αξιοπιστία και ασφάλεια, κυρίως για τις απομακρυσμένες περιοχές, όπου πολλές φορές είναι δύσκολη η παροχή ενέργειας από το κεντρικό δίκτυο.

Η απαίτηση για αλλαγή του υπάρχοντος δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς οι βασικές λειτουργίες του δεν έχουν αλλάξει σχεδόν καθόλου από τη δημιουργία του, οδήγησαν στην ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grid - SG), γεγονός που σηματοδοτεί την αναβάθμιση των ηλεκτρικών δικτύων του 20ου αιώνα. Η ανάγκη για περιβαλλοντική συμμόρφωση και εξοικονόμηση ενέργειας καλύπτεται από το SG, το οποίο είναι ένα ευέλικτο δίκτυο, μιας και μπορεί να ανταποκριθεί σε τυχόν αλλαγές και προκλήσεις, και προσπελάσιμο εφόσον μπορεί να συνδεθεί σε αυτό ΑΠΕ. Συνεπώς, η εξέλιξη αυτή διευρύνει ουσιαστικά την κλίμακα των οφελών τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας χάρη στην αξιοποίηση της τεχνολογίας της πληροφορίας και των επικοινωνιών, τον αυτοματοποιημένο έλεγχο και τις αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα μελλοντικά ηλεκτρικά συστήματα του κόσμου είναι τρεις [3]:

1. Κυβερνητικές πολιτικές τόσο σε ομοσπονδιακό όσο και σε κρατικό επίπεδο
2. Ανάγκες απόδοσης πελατών
3. Νέες έξυπνες τεχνολογίες λογισμικού και υλικού υπολογιστών συμβατικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Ολόκληρη η Ευρώπη, καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του βιομηχανικού κόσμου, έχουν ουσιαστικά απορρυθμίσει και απελευθερώσει τις αγορές ενέργειας. Βέβαια, ο εκσυγχρονισμός του δικτύου διαφέρει από χώρα σε χώρα, ανάλογα με την

κατάσταση της υπάρχουσας υποδομής μεταφοράς και διανομής, τις ικανότητες παραγωγής και τα πρότυπα ζήτησης. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα "έξυπνα δίκτυα" είναι ο πιο λογικός τρόπος για την επίτευξη πιο αξιόπιστης και οικονομικά αποδοτικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

## **1.2 Επισκόπηση της Διπλωματικής Εργασίας**

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται περιληπτικά το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας.

Στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το παρόν Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και οι αδυναμίες του, γίνεται αναφορά στις προκλήσεις που ενδέχεται να αντιμετωπίσει το σύστημα από την εισχώρηση αδιάλειπτων παραγωγών ενέργειας. Επίσης, περιγράφεται η δομή του έξυπνου συστήματος ενέργειας, με την οποία διαρθρώνεται η εργασία.

Το 3ο κεφάλαιο περιγράφει το έξυπνο σύστημα υποδομής και τα τρία υποσυστήματά του. Αρχικά το έξυπνο υποσύστημα ενέργειας, το οποίο αναλαμβάνει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ενέργειας, μαζί με τα δύο βασικότερα παραδείγματα νέου δικτύου, τα μικροδίκτυα και τα συνδεδεμένα ηλεκτρικά οχήματα. Στη συνέχεια, το έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας κατά το οποίο αναλύονται οι έξυπνοι μετρητές, τα μετρητικά συστήματα, τα συστήματα έξυπνης παρακολούθησης, καθώς και εφαρμογές IoT σε αυτά. Τέλος, παρουσιάζεται το έξυπνο υποσύστημα επικοινωνίας και οι αντίστοιχες τεχνολογίες και απαιτήσεις του.

Στη συνέχεια, στο 4ο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της Απόκρισης Ζήτησης, ως μέρος του έξυπνου συστήματος διαχείρισης και παρουσιάζονται τα πιθανά πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρει στα έξυπνα δίκτυα.

Το 5ο κεφάλαιο αναφέρεται στο τελευταίο μέρος του διαχωρισμού των έξυπνων δικτύων, το έξυπνο σύστημα προστασίας, όπου θίγονται θέματα αξιοπιστίας, ασφάλειας και ιδιωτικότητας.

Τέλος, ολοκληρώνεται η επισκόπηση των έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με τα χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την παρούσα εργασία και γίνονται πιθανές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ SMART GRIDS

#### 2.1 Το παρόν δίκτυο

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται [4], το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Οι βασικές συνιστώσες του ηλεκτρικού δικτύου είναι η παραγωγή, η μεταφορά, η διανομή, οι εταιρείες κοινή ωφέλειας και οι καταναλωτές.

Σε πολλά μέρη του κόσμου, τα πρώτα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούσαν με συνεχές ρεύμα (Direct Current - DC), ωστόσο η μη αποδοτική μετάδοση τόσο σε κόστος όσο και σε απώλειες, καθώς και η ύπαρξη θεμάτων ασφάλειας είχε ως αποτέλεσμα να επικρατήσει το εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternating Current - AC), του οποίου η ένταση και η κατεύθυνση μεταβάλλονται περιοδικά (με συχνότητα 50 ή 60 Hz) [5].

Η παραγωγή περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής, που συνήθως είναι μονάδες παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, πυρηνικοί σταθμοί και υδροηλεκτρικές μονάδες. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες είναι η πιο οικονομική και φιλικά προσκείμενη προς το περιβάλλον παραγωγή, αν και απαιτούν ποτάμια με ισχυρή ροή και δε μπορούν να κατασκευαστούν παντού. Τα τελευταία χρόνια, τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα έχουν προστεθεί στην παραγωγή ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι ακόμα τόσο οικονομικά και δε μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητές τους, λόγω της αλληλεπίδρασης με τις υπόλοιπες παραγωγές.

Το σύστημα μεταφοράς είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής σε υποσταθμούς ισχύος. Οι γραμμές μεταφοράς μεταφέρουν ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις (συνήθως εκατοντάδες

χιλιόμετρα) λόγω του ότι οι σταθμοί παραγωγής δε βρίσκονται κοντά στις αστικές περιοχές για οικονομικούς, νομικούς και για ασφάλεια.

Στη διανομή περιλαμβάνεται η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας από τις γραμμές μεταφοράς στους καταναλωτές. Στο σύστημα διανομής χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα τάσης διανομής [6]:

1. Η τάση τροφοδοσίας, η οποία χαρακτηρίζεται και ως μέση τάση
2. Η τάση κατανάλωσης, η οποία χαρακτηρίζεται και ως χαμηλή τάση

Στην Ευρώπη και στις περισσότερες χώρες του κόσμου, η τάση κατανάλωσης είναι 220V ή 230V σε συχνότητα 60 Hz ενώ στις Η.Π.Α. 120V. Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από γραμμές ισχύος μέσης τάσης (<50 kV), υποσταθμούς και μετασχηματιστές, αρχίζει από τον υποσταθμό μετάδοσης και τελειώνει στους μετρητές των χρηστών. Ο υποσταθμός αποτελείται από μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης, ένα δίαυλο για το διαχωρισμό των επιμέρους κυκλωμάτων προς διαφορετικές περιοχές, καθώς και ηλεκτρονόμους και διακόπτες κυκλώματος που έχουν σχεδιαστεί για να αποσυνδέουν τον υποσταθμό από το υπόλοιπο δίκτυο ή για να απομονωθεί κάποια από τις γραμμές διανομής, όταν είναι απαραίτητο.

Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας είναι εταιρείες στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ασχολούνται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και με την πώλησή της, μέσω του δικτύου διανομής του καταναλωτές. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας είναι οι κύριοι πάροχοι ενέργειας στο δίκτυο, κάτι που ισχύει στις περισσότερες χώρες, και έχουν ως κύριο στόχο να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών για ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και να τους προσφέρουν υποστήριξη όταν χρειάζεται.

## **2.2 Αδυναμίες και Προκλήσεις του τρέχοντος ηλεκτρικού δικτύου**

Τα υπάρχοντα δίκτυα αντιμετωπίζουν τέσσερα βασικά προβλήματα. Αρχικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται ταχύτερα από ό,τι η ζήτηση για οποιαδήποτε άλλη μορφή τελικής ενέργειας παγκοσμίως και εντείνεται κυρίως τις ώρες αιχμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα δίκτυα να αυξάνονται όλο και περισσότερο, καθιστώντας απαραίτητη τη γρήγορη επέκτασή τους. Ένα δεύτερο

αξιοσημείωτο πρόβλημα είναι ότι η υποδομή τείνει να γίνει παρωχημένη και να θέσει σε κίνδυνο την αξιοπιστία των πηγών ενέργειας και να επιδεινώσει τις απώλειες ενέργειας σε βάρος των οικονομικών μονάδων που υφίστανται ταχεία ηλεκτροδότηση. Επί παραδείγματι, στην Ινδία, τα ανεπαρκή δίκτυα διανομής καταλήγουν στην απώλεια 20% της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στις ΗΠΑ η γήρανση του δικτύου μεταφοράς προκαλεί μείωση της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος [7]. Τρίτον, καθώς αυξάνεται το μερίδιο της Μεταβλητής Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (Variable Renewable Energy - VRE) στο ενεργειακό μείγμα, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να γίνει πιο ευέλικτο για να ταιριάζει με την προσφορά και τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Το τελευταίο ζήτημα που σημειώνεται αφορά την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και τις αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες δε μπορούν να αντιμετωπιστούν σωστά από τα παραδοσιακά δίκτυα, καθώς η είσοδος της κατανεμημένης παραγωγής σε ορισμένους τομείς αυξάνεται σε υψηλά επίπεδα.

Τα χαρακτηριστικά του παρόντος συμβατικού συστήματος παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, τα οποία θα επηρεαστούν περισσότερο από τις αλλαγές που απαιτούνται για τη μετάβαση στα SG είναι τα ακόλουθα [3]:

1. Οι κεντρικές πηγές παραγωγής ενέργειας
2. Η μονή κατεύθυνση ροής ενέργειας από τις πηγές προς τους καταναλωτές
3. Η παθητική συμμετοχή των καταναλωτών, η γνώση τους σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μέχρι στιγμής περιορίζεται σε ένα μηνιαίο λογαριασμό
4. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο που περιορίζονται κυρίως σε παραγωγή και μετάδοση και μόνο σε ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, θα επεκταθεί και στο δίκτυο διανομής
5. Το σύστημα δεν είναι ευέλικτο, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλακτικές πηγές σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου

Αυτά τα συμβατικά χαρακτηριστικά έχουν εξυπηρετήσει επαρκώς τις ανάγκες των ηλεκτρικών επιχειρήσεων και των πελατών τους στο παρελθόν. Ωστόσο, οι νέες ανάγκες των καταρτισμένων και περιβαλλοντικά συνειδητών καταναλωτών, η

διαθεσιμότητα έξυπνων τεχνολογιών, απαιτούν ένα μελλοντικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με θεμελιώδεις αλλαγές στα παραπάνω πέντε σημεία.

### **2.3 Προκλήσεις από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Η αιολική ενέργεια είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος τομέας στη βιομηχανία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η ηλιακή ενέργεια προς το παρόν υστερεί, αλλά οι νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί αφήνουν υποσχέσεις πως η παραγωγή ενέργειας από την ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να φτάσει ή και να ξεπεράσει την παραγωγή της αιολικής ενέργειας. Νέες μονάδες παραγωγής αιολικής ή ηλιακής ενέργειας μπορούν, σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, να κατασκευαστούν, να συνδεθούν και να τεθούν σε λειτουργία, υπό την προϋπόθεση ότι το δίκτυο μπορεί να χειριστεί τη νέα δυναμικότητα με αξιόπιστο και αποδοτικό τρόπο.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας έχει βελτιωθεί σημαντικά, καθώς έχουν κατασκευαστεί μεγαλύτερες σε ισχύ ανεμογεννήτριες, οι οποίες φτάνουν μέχρι τα 6 MW, με αποτέλεσμα να μειωθεί το κόστος και να φτάσει κάτω από 2 εκατομμύρια δολάρια ανά MW εγκατεστημένης ισχύος [7]. Πλέον, μεγάλα αιολικά πάρκα, της τάξης αρκετών εκατοντάδων μεγαβάτ, αναπτύσσονται σε μερικούς μήνες.

Η μαζική παραγωγή και η ανάπτυξη νέων οικονομικότερων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών έχει μειώσει δραστικά το κόστος των φωτοβολταϊκών μονάδων σε λιγότερο από 1 δολάριο ανά watt. Οι μονάδες ηλιακής ενέργειας μπορούν να κατασκευαστούν όπου είναι περισσότερο απαραίτητες στο δίκτυο, επίσης η εγκατάστασή τους είναι συνήθως πιο εύκολη συγκριτικά με αυτήν μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να επεκταθούν σταδιακά καθώς αυξάνεται η ζήτηση. Ωστόσο, αυτές οι διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν αρκετές προκλήσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στους διαχειριστές του, όπως οι παρακάτω:

Θέματα του συστήματος μεταφοράς: Ορισμένες από τις τοποθεσίες που έχουν ευνοϊκές, ως προς την παραγωγή ενέργειας, συνθήκες για αιολικές ή μεγάλης κλίμακας ηλιακές μονάδες (μεγαλύτερες από 100 MW) ενδέχεται να απέχουν αρκετά

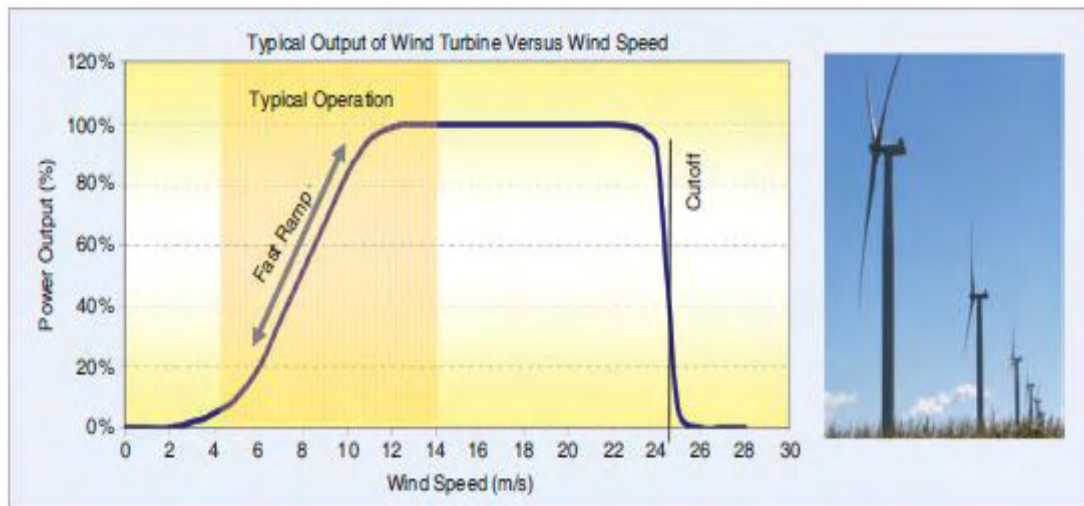


από οποιεσδήποτε υφιστάμενες γραμμές μεταφοράς ή ακόμα η χωρητικότητα της γραμμής μεταφοράς να είναι περιορισμένη. Αυτοί οι περιορισμοί αποτελούν το βασικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές έργων αιολικής ενέργειας, καθώς η σχεδίαση και η κατασκευή νέων δικτύων μεταφοράς είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Η επέκταση των γραμμών μεταφοράς για την υποστήριξη της όλο και αυξανόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά πάρκα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αυτού του τομέα.

Θέματα του συστήματος διανομής: Μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκές μονάδες σε οικίες ή σε δημόσια κτήρια, οι οποίες συνδέονται απευθείας στο σύστημα διανομής δημιουργούν ορισμένες προκλήσεις στο δίκτυο και στο διαχειριστή του. Με τη διείσδυση αυτών των παραγωγών στο δίκτυο, ενδέχεται να απαιτηθούν αλλαγές στις στρατηγικές προστασίας και ελέγχου, στην αυτοματοποίηση της διανομής και στη διαχείριση της τάσης.

Πρότυπα διασύνδεσης: Ενδέχεται να απαιτείται επαναπροσδιορισμός και διεύρυνση για τα πρότυπα διασύνδεσης, προκειμένου να αντιμετωπιστούν υψηλότερα επίπεδα ελέγχου συντελεστή ισχύος, καθώς και να έχουν την ικανότητα αδιάλειπτης λειτουργίας υπό χαμηλή τάση (Low Voltage Ride Through – LVRT) για την αποφυγή οποιουδήποτε περιοδικού ζητήματος σταθερότητας.

Θέματα λειτουργίας: Η διαλείπουσα φύση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή και αιολική ενέργεια δημιουργεί ορισμένες προκλήσεις, όσον αφορά την λειτουργία του συστήματος, και συγκεκριμένα του δικτύου μεταφοράς, όπως η αύξηση του “ramping” (απότομες μεταβολές στην παραγωγή ενέργειας) και οι επιπτώσεις του στη σταθερότητα του συστήματος. Για παράδειγμα, σε ένα αιολικό πάρκο, επειδή η ταχύτητα του ανέμου αλλάζει, δημιουργούνται απότομες μεταβολές στην παραγόμενη ισχύ των ανεμογεννητριών, καθώς στην τυπική λειτουργία τους δημιουργούνται μεγάλες αυξομειώσεις (όπως φαίνεται στην Εικόνα 1), κάτι που δημιουργεί αναταραχές στο δίκτυο. Επίσης, στις υψηλές ταχύτητες ανέμου η γεννήτρια σταματάει να παράγει ενέργεια για την αποφυγή βλαβών στα πτερύγια. Αυτή η διακοπή δημιουργεί επιπρόσθετα λειτουργικά προβλήματα λόγω της πολύ απότομης μείωσης της παραγωγής



Εικόνα 1: Καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννητριών [7]

## 2.4 Εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα Έξυπνα Ενεργειακά Δίκτυα, τα οποία ονομάζονται και μελλοντικά δίκτυα ή ευφυή δίκτυα, είναι στην ουσία μία βελτιωμένη έκδοση του ηλεκτρικού δικτύου του εικοστού (20ου) αιώνα. Τα σημερινά ηλεκτρικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μεταφορά ενέργειας, η οποία διατίθεται μέσω κεντροποιημένης παραγωγής, σε μεγάλο αριθμό καταναλωτών. Σε αντίθεση με αυτά, στα ευφυή δίκτυα ενέργειας ενσωματώνονται έξυπνοι μετρητές και συσκευές, επιτρέποντας την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των καταναλωτών και των διανομέων ισχύος, με σκοπό τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου και κατανεμημένου δικτύου παροχής ενέργειας. Στο ερώτημα “γιατί χαρακτηρίζονται έξυπνα”, απαντάει το γεγονός ότι αποτελούνται από ό,τι πιο σύγχρονο υπάρχει, θέλοντας να συμβαδίσουν με τη ψηφιακή εποχή. Έτσι, με αυτή τη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής, τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στοχεύουν στη μεταφορά ενέργειας με έναν πιο αποδοτικό τρόπο, καθώς και στο να ανταποκρίνονται δυναμικά σε απαιτητικές συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα, το SG μπορεί να οριστεί ως ένα ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιεί πληροφορίες, αμφίδρομες και ασφαλείς τεχνολογίες επικοινωνιών καθώς και υπολογιστική νοημοσύνη, σε ολόκληρο το δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, στοχεύει σε ένα ασφαλές, αξιόπιστο, ανθεκτικό σε σφάλματα, αποτελεσματικό και βιώσιμο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 1 φαίνονται εν συντομία

μερικές από τις βασικές διαφορές μεταξύ του υπάρχοντος δικτύου και του μελλοντικού.

Πίνακας 1: Συνοπτική σύγκριση του υπάρχοντος δικτύου με ένα έξυπνο δίκτυο [9]

Υπάρχον Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανικό	Ψηφιακό
Επικοινωνία μονής κατεύθυνσης	Αμφίδρομη επικοινωνία
Κεντρική παραγωγή	Κατανεμημένη παραγωγή
Λίγοι αισθητήρες	Παντού αισθητήρες
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτο-παρακολούθηση
Χειροκίνητη αποκατάσταση	Αυτοθεραπεία
Διακοπές ρεύματος	Ευπροσάρμοστο
Περιορισμένος έλεγχος	Διάχυτος έλεγχος
Περιορισμένες επιλογές καταναλωτών	Πολλές επιλογές καταναλωτών

Η αρχική ιδέα του SG, ξεκίνησε παράλληλα με την ιδέα των προηγμένων υποδομών μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure - AMI), η οποία αναλύεται περαιτέρω στο κεφάλαιο 3, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της διαχείρισης της ζήτησης (Demand-Side Management - DSM), και γενικώς ενός αξιόπιστου δικτύου που θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε σφάλματα που προέρχονται από κακόβουλες επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Ωστόσο, νέες απαιτήσεις οδήγησαν τις βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας, τους ερευνητικούς οργανισμούς και τις κυβερνήσεις να επανεξετάσουν και να επαναπροσδιορίσουν την αρχική αντίληψη για το σκοπό των SG. Το νομοσχέδιο των Η.Π.Α. του 2007 για την ανεξαρτησία και την ασφάλεια της ενέργειας ανέθεσε στο Εθνικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α. για τα πρότυπα και την τεχνολογία (National Institute of Standards and

Technology - NIST) να οργανώσει το ερευνητικό πρόγραμμα για την ανάπτυξη πλαισίου με στόχο τη διαλειτουργικότητα των SG και των συσκευών.

Η πρόοδος στους τομείς των τεχνολογιών επικοινωνιών και πληροφοριών έχουν αξιοποιηθεί από τη βιομηχανία της ενέργειας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και γενικότερα της συνολικής ποιότητας των υπηρεσιών. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα στη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου, οι ανησυχίες για την αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, η αύξηση της ζήτησης, η ενεργειακή ανεξαρτησία, και η ανάγκη για ποιοτικότερες υπηρεσίες είναι οι σημαντικότεροι λόγοι για την πραγματοποίηση ενός τεράστιου άλματος και την εισχώρηση τέτοιων τεχνολογιών. Αυτό το άλμα για ένα πιο “έξυπνο” δίκτυο, αναφέρεται ευρέως έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο προβλέπεται να επωφεληθεί από όλες τις διαθέσιμες σύγχρονες τεχνολογίες για να μετατρέψει το υπάρχον δίκτυο σε ένα δίκτυο με έξυπνες λειτουργίες, το οποίο θα είναι ικανό για τα παρακάτω:

- Βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας ισχύος
- Βελτιστοποίηση της χρήσης των υποδομών, ώστε να μην είναι απαραίτητη η κατασκευή εφεδρικών μονάδων ισχύος
- Αύξηση της χωρητικότητας και της αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων ηλεκτρικών δικτύων
- Βελτίωση της ανθεκτικότητας σε διαταραχές
- Διευκόλυνση για την περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Δυνατότητα για πρόγνωση συντήρησης και “αυτοθεραπείας”
- Αξιοποίηση των κατανεμημένων πηγών ενέργειας
- Αυτοματοποίηση της συντήρησης και του χειρισμού
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου διευκολύνοντας την χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας
- Αύξηση των επιλογών των καταναλωτών μέσω νέων προϊόντων υπηρεσιών και αγορών ενέργειας

### 2.4.1. Η Δομή των Έξυπνων Δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το SG παρουσιάζεται και αναλύεται σύμφωνα με το διαχωρισμό των Xi Fang, Satyajayant Misra κ.ά. [9], όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Πιο συγκεκριμένα, η δομή του αποτελείται από τρία μέρη:



Εικόνα 2: Λεπτομερής διάταξη του Υποσυστήματος Ενέργειας [9]

#### 1. Έξυπνο σύστημα υποδομής

Το έξυπνο σύστημα υποδομής αποτελείται από τις υποδομές για την ενέργεια, την πληροφόρηση και την επικοινωνία, οι οποίες αποτελούν τη βάση του SG. Υποστηρίζει την αμφίδρομη ροή ενέργεια και πληροφοριών. Η έννοια της αμφίδρομης ροής πληροφοριών είναι ευρέως γνωστή, ο όρος αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας σημαίνει ότι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι πλέον μιας κατεύθυνσης. Για παράδειγμα, στα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα η ενέργεια παράγεται στις κεντρικές μονάδες, έπειτα μεταφέρεται μέσω του δικτύου μεταφοράς και στη συνέχεια διανέμεται στον τελικό χρήστη. Αντιθέτως, στο SG υπάρχει η δυνατότητα η ηλεκτρική ενέργεια να έχει και την αντίθετη φορά. Για παράδειγμα κάτι τέτοιο ενδέχεται να συμβεί αν οι τελικοί χρήστες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών πλαισίων στις οικίες τους, και γίνεται έγχυση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι μεγάλη. Η αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ σημαντική, ειδικά στις περιπτώσεις των μικροδικτύων όταν αυτά έχουν απομονωθεί από το υπόλοιπο δίκτυο εξαιτίας κάποιων σφαλμάτων. Τα μικροδίκτυα μπορούν να λειτουργούν σε μειωμένα επίπεδα, με την αυτοτροφοδότηση που θα γίνεται από τους πελάτες.

Το έξυπνο σύστημα υποδομής αναλύεται περαιτέρω, σε τρία παρακάτω υποσυστήματα:

- Στο έξυπνο υποσύστημα ενέργειας, το οποίο είναι υπεύθυνο για την προηγμένη παραγωγή, μεταφορά, διανομή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Στο έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας, το οποίο είναι υπεύθυνο για τις έξυπνες μετρήσεις, την παρακολούθηση και τη διαχείριση των πληροφοριών που υπάρχουν σε ένα SG.
- Στο έξυπνο υποσύστημα επικοινωνίας, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διασφάλιση της επικοινωνίας και τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συστημάτων, των συσκευών και των εφαρμογών του SG.

## 2. Έξυπνο σύστημα διαχείρισης

Το έξυπνο σύστημα διαχείρισης είναι ένα από τα υποσυστήματα του SG, το οποίο παρέχει προηγμένη διαχείριση και έλεγχο λειτουργιών και υπηρεσιών. Ο βασικός λόγος για τον οποίο το SG θεωρείται ένα πρωτοποριακό δίκτυο είναι η πληθώρα λειτουργιών που διαθέτει βασιζόμενες στην έξυπνη υποδομή του. Με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών διαχείρισης, που μπορούν να αξιοποιήσουν την εξέλιξη των τεχνολογιών και τις δυνατότητες που παρέχει το έξυπνο σύστημα υποδομής, το δίκτυο συνεχίζει να γίνεται πιο “έξυπνο”. Επιδιώκοντας τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, τον έλεγχο εκπομπών, τη μείωση του λειτουργικού κόστους και τη μέγιστη αξιοποίηση του συστήματος.

### 3. Έξυπνο σύστημα προστασίας

Το έξυπνο σύστημα προστασίας είναι το υποσύστημα του SG που παρέχει αξιοπιστία, προστασία από πιθανές βλάβες, προστασία από κακόβουλες επιθέσεις και προστασία της ιδιωτικότητας. Αξιοποιώντας την έξυπνη υποδομή, το SG δεν πρέπει να υλοποιήσει μόνο ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης, αλλά και να παρέχει ένα πιο έξυπνο σύστημα προστασίας, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικότερα τους μηχανισμούς προστασίας των σφαλμάτων, να αντιμετωπίσει τα ζητήματα ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και να διατηρήσει την ιδιωτικότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα επιμέρους υποσυστήματα των παραπάνω συστημάτων, τα οποία περιγράφονται στο 2.4.1.

#### 3.1 Έξυπνο Υποσύστημα Ενέργειας

Οι αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφόρησης αποτελούν τη βάση υποδομής για το SG. Η έξυπνη υποδομή μπορεί να υποδιαιρεθεί στο υποσύστημα έξυπνης ενέργειας, στο έξυπνο υποσύστημα πληροφοριών και στο υποσύστημα έξυπνης επικοινωνίας, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, περιγράφονται η υπάρχουσα κατάσταση στο υποσύστημα έξυπνης ενέργειας και κάποιες μελλοντικές προκλήσεις για περαιτέρω έρευνα.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συχνότερα σε κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ηλεκτρομηχανικές γεννήτριες, οι οποίες κινούνται κυρίως από τη δύναμη του τρεχούμενου νερού ή από κινητήρες θερμότητας, οι οποίοι τροφοδοτούνται με χημική καύση ή πυρηνική ενέργεια. Προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις οικονομίες κλίμακας, τα εργοστάσια παραγωγής είναι συνήθως αρκετά μεγάλα και βρίσκονται μακριά από τις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς αυξάνεται σε υψηλότερη τάση για μετάδοση στο δίκτυο μετάδοσης (transmission grid), όπου εκεί μετακινεί την ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις σε υποσταθμούς. Κατά την άφιξη σε υποσταθμό, η ισχύς θα βγει από την τάση επιπέδου μετάδοσης σε τάση επιπέδου διανομής και καθώς η ισχύς εξέρχεται από τον υποσταθμό, εισέρχεται στο δίκτυο διανομής. Τέλος, κατά την άφιξη στο σημείο εξυπηρέτησης, η ισχύς επιστρέφει στην απαιτούμενη τάση υπηρεσίας.

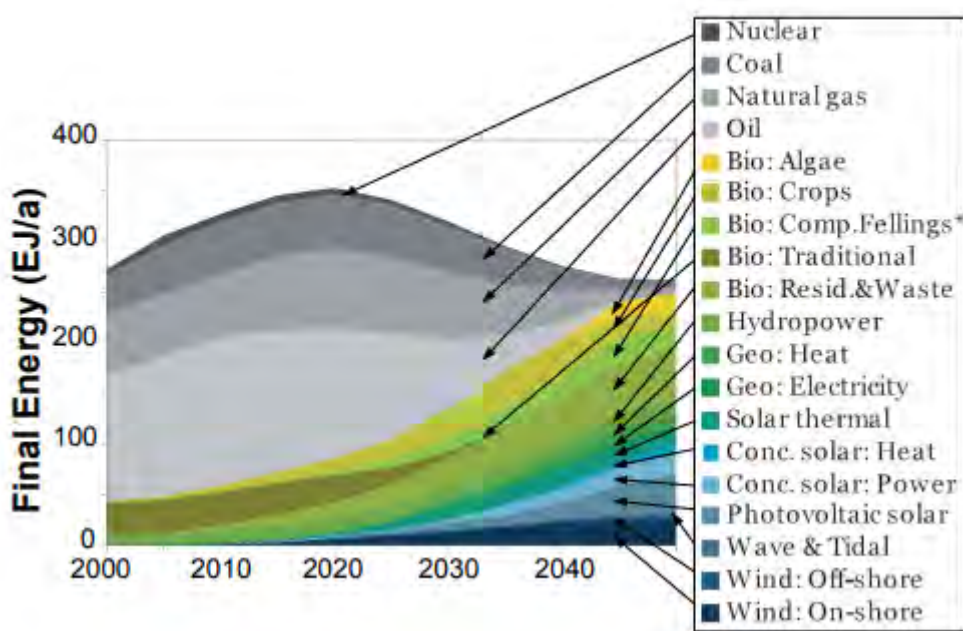
Σε αντίθεση με το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το σχέδιο ροής σε ένα SG είναι πιο ευέλικτα. Για παράδειγμα, το δίκτυο διανομής μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ανεμογεννήτριες ή ηλιακούς συλλέκτες. Το υποσύστημα ενέργειας διαιρείται στα παρακάτω:

##### 3.1.1 Δομή Έξυπνου Υποσυστήματος Ενέργειας



## 1. Παραγωγή ενέργειας:

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες μορφές ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, η πυρηνική ενέργεια, ο ήλιος και ο άνεμος. Καθώς, όπως έχουμε αναφέρει στο Κεφάλαιο 1, τα ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται και γενικά γίνονται πιο ακριβά, αναμένεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα παίξουν σημαντικό ρόλο στη μελλοντική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η Εικόνα 3 απεικονίζει την προβλεπόμενη παγκόσμια παροχή ενέργειας ανά πηγή.



Εικόνα 3: Παγκόσμια παροχή ενέργειας από διάφορες πηγές [9]

Σε αντίθεση με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο, γίνεται δυνατή “πιο έξυπνη” παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς υποστηρίζονται αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών. Ένα βασικό παράδειγμα παραγωγής ενέργειας, το οποίο υποστηρίζεται από SG, αποτελεί η Κατανεμημένη Παραγωγή (Distributed Generation - DG), η οποία εκμεταλλεύεται συστήματα κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (Distributed Energy Resource - DER) (π.χ. ηλιακά πάνελ και μικρές ανεμογεννήτριες), τα οποία είναι συχνά μικρής κλίμακας γεννήτριες ισχύος (συνήθως στην περιοχή από 3 kW έως 10.000 kW), με τη σειρά για τη βελτίωση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της ενέργειας.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το μικροδίκτυο (microgrid), το οποίο είναι μια τοπική ομαδοποίηση των ηλεκτρογεννητριών και των φορτίων, μπορεί να αποσυνδεθεί από το υπόλοιπο δίκτυο (macrogrid), έτσι ώστε οι κατανεμημένες γεννήτριες να συνεχίσουν να τροφοδοτούν τους χρήστες σε αυτό το microgrid χωρίς να λαμβάνουν εξωτερική ενέργεια. Έτσι, η διαταραχή στο macrogrid μπορεί να απομονωθεί και η ποιότητα της ηλεκτρικής τροφοδοσίας να βελτιωθεί. Σύμφωνα με μελέτη του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας [11], επισημαίνεται ότι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο βασίζεται σε μεγάλο αριθμό αξιόπιστων μικρών κατανεμημένων γεννητριών, μπορεί να λειτουργεί με την ίδια αξιοπιστία και με ένα μικρότερο περιθώριο χωρητικότητας από ένα σύστημα εξίσου αξιόπιστων μεγάλων γεννητριών.

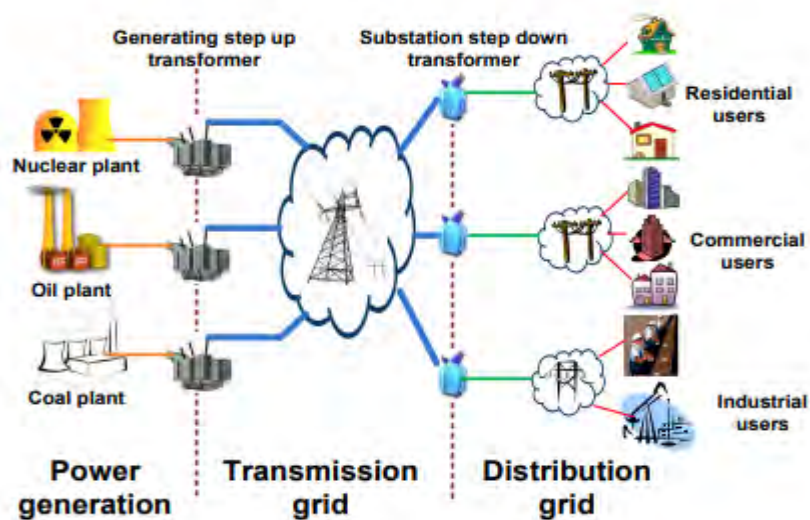
Ωστόσο, η υλοποίηση DG στην πράξη δεν είναι εύκολη εξαιτίας αρκετών λόγων, όπως ενδεικτικά αυτοί που αναφέρονται παρακάτω:

- Μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη για παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Το συνηθισμένο κόστος λειτουργίας των κατανεμημένων γεννητριών για τη δημιουργία μιας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό σε σύγκριση με το κόστος των παραδοσιακών κεντρικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής μεγάλης κλίμακας

Παρόλο που η είσοδος των κατανεμημένων γεννητριών είναι περιορισμένη στο σημερινό σύστημα ισχύος, το μελλοντικό SG αναμένεται να υιοθετήσει ένα μεγάλο αριθμό από αυτά για να σχηματίσει ένα πιο αποκεντρωμένο σύστημα ισχύος. Επιπρόσθετα, η γενικότερη ανάπτυξη τους θα αλλάξει τη μεθοδολογία σχεδιασμού του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου, σε σχέση με την προηγούμενη με την οποία οι γεννήτριες συνδέονται με το δίκτυο μετάδοσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

Η ιδέα και η ανάπτυξη των κατανεμημένων γεννητριών οδήγησε σε μία νέα ιδέα, η οποία ονομάζεται Εικονική Μονάδα Παραγωγής Ενέργειας (Virtual Power Plant-VPP) και διαχειρίζεται μια μεγάλη ομάδα κατανεμημένων γεννητριών με συνολική χωρητικότητα συγκρίσιμη με εκείνη ενός συμβατικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Αυτή η ομάδα κατανεμημένων γεννητριών διοικείται συλλογικά από έναν κεντρικό

ελεγκτή. Με αυτόν το συντονισμένο τρόπο λειτουργίας προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα να παραδώσει ηλεκτρική ενέργεια φορτίου αιχμής ή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει υπόψη το φορτίο σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, ένα VPP μπορεί να αντικαταστήσει ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα μεγαλύτερη ευελιξία και απόδοση και με αυτόν τον τρόπο το σύστημα μπορεί να αντιδρά καλύτερα στις διακυμάνσεις. Ωστόσο, ένα VPP είναι επίσης ένα πολύπλοκο σύστημα που απαιτεί περίπλοκη μέθοδο βελτιστοποίησης, ελέγχου και ασφαλούς επικοινωνίας.



Εικόνα 4: Ένα παράδειγμα του παραδοσιακού ηλεκτρικού πλέγματος [9]

## 2. Δίκτυο μεταφοράς:

Από την πλευρά της μεταφοράς ισχύος, παράγοντες όπως οι προκλήσεις υποδομής και οι καινοτόμες τεχνολογίες οδηγούν στην ανάπτυξη έξυπνων δικτύων μετάδοσης. Όπως αναφέρεται στο [9], το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα που αποτελείται από τρία διαδραστικά στοιχεία: έξυπνα κέντρα ελέγχου, έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας και έξυπνους υποσταθμούς.

Βάσει των υφιστάμενων κέντρων ελέγχου, τα μελλοντικά έξυπνα κέντρα ελέγχου θα επιτρέπουν νέα χαρακτηριστικά, όπως εκτενείς δυνατότητες για ανάλυση, παρακολούθηση και οπτικοποίηση.

Τα έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας είναι εννοιολογικά βασισμένα στην υπάρχουσα υποδομή ηλεκτρικής μετάδοσης. Παρ'όλα αυτά, η εμφάνιση νέων τεχνολογιών μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοποίησης της ισχύος, της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας, της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του συστήματος, οδηγώντας έτσι στην ανάπτυξη ενός νέου γενικού πλαισίου αρχιτεκτονικής για δίκτυα μεταφοράς.

Το όραμα του έξυπνου υποσταθμού βασίζεται στις υπάρχουσες ολοκληρωμένες τεχνολογίες αυτοματισμού υποσταθμών. Αν και οι βασικές διαμορφώσεις υποσταθμών υψηλής τάσης δεν έχουν αλλάξει πολύ τα τελευταία χρόνια, ο εξοπλισμός για παρακολούθηση, μέτρηση και έλεγχο έχει υποστεί μια μεγάλη αλλαγή. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου υποσταθμού περιλαμβάνουν ψηφιοποίηση, αυτονομία, συντονισμό και αυτοθεραπεία.

Συνοψίζοντας, με μια κοινή ψηφιοποιημένη πλατφόρμα, στο ευφυές δίκτυο μετάδοσης είναι δυνατό να δοθεί περισσότερη ευελιξία στον έλεγχο και τη λειτουργία, να επιτρέψει την ενσωματωμένη ευφυΐα και να προωθήσει την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα του δικτύου.

### 3.Δίκτυο Διανομής:

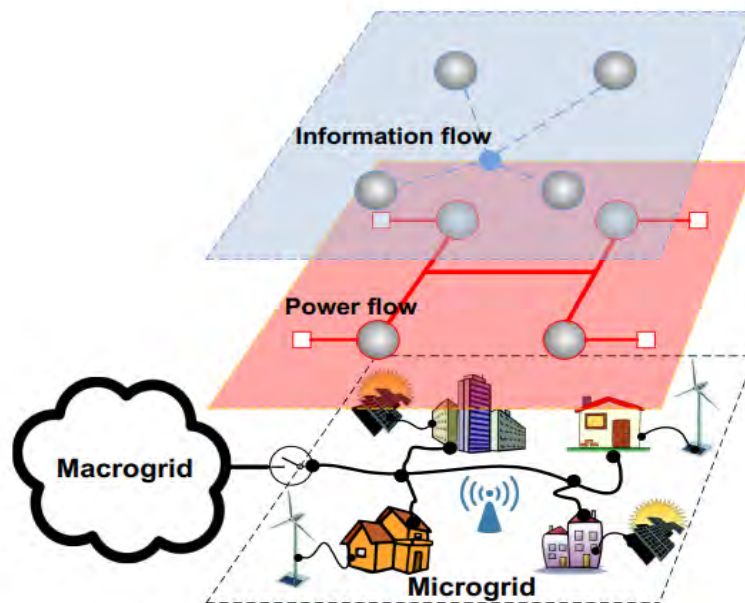
Ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει αλλαγές και στο κομμάτι του δικτύου διανομής. Πιο συγκεκριμένα, το πιο σημαντικό ζήτημα για το δίκτυο διανομής είναι το να παραδώσει ενέργεια για την καλύτερη εξυπηρέτηση των τελικών χρηστών. Η διατήρηση της αξιοπιστίας, δηλαδή να επιτελείται η λειτουργία του χωρίς την εμφάνιση σφαλμάτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες και χρονικό διάστημα, δεν είναι εγγυημένη, καθώς αυτά τα δίκτυα είναι πιο ευαίσθητα στην περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών. Τα μέρη του δικτύου, τα οποία είναι επιρρεπή σε σφάλματα είναι οι γραμμές και τα καλώδια διανομής, οι μετασχηματιστές ισχύος, οι πυκνωτές και οι ρυθμιστές τάσης. Ωστόσο, καθώς πολλές κατανεμημένες γεννήτριες θα ενσωματωθούν στο έξυπνο κατανεμημένο δίκτυο, αυτό, αφενός, θα αυξήσει την ευελιξία του συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφετέρου καθιστά τον έλεγχο ροής ισχύος πολύ πιο πολύπλοκο, με αποτέλεσμα να καθιστά επίσης αναγκαία την έρευνα της έξυπνης κατανομής ισχύος και τους μηχανισμούς παράδοσης.

Ένα από τα χαρακτηριστικά που κάνουν το Δίκτυο Διανομής “έξυπνο” είναι η αυτοματοποίηση του στην εποπτεία, τον έλεγχο και τη διαχείρισή του. Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού είναι σχεδιασμένα για την άμεση ανίχνευση και αντιμετώπιση των σφαλμάτων, έτσι ώστε σε περίπτωση σφάλματος να μείνει εκτός λειτουργίας το μικρότερο δυνατό τμήμα του συστήματος, ενώ το υπόλοιπο να λειτουργεί κανονικά.

### 3.1.2. Παραδείγματα στο Έξυπνο Δίκτυο

Ένα παράδειγμα, το οποίο επωφελείται από τις τεχνολογίες υποσυστημάτων έξυπνης ενέργειας και προωθεί περαιτέρω την ανάπτυξη των SG είναι το microgrid. Πιο συγκεκριμένα, ένα microgrid είναι μία τοπική ομάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποθήκευσης ενέργειας και φορτίων. Κατά την κανονική λειτουργία, συνδέεται με ένα παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο (macrogrid). Οι χρήστες σε ένα μικροδίκτυο μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής τάσης χρησιμοποιώντας καταναμημένη παραγωγή, όπως ηλιακά πάνελ, ανεμογεννήτριες και κυψέλες καυσίμου. Το μοναδικό σημείο κοινής σύζευξης με το macrogrid μπορεί να αποσυνδεθεί και το microgrid να λειτουργεί αυτόνομα. Αυτή η λειτουργία θα οδηγήσει σε ένα προστατευμένο μικρό δίκτυο, στο οποίο οι καταναμημένες γεννήτριες συνεχίζουν να τροφοδοτούν τους χρήστες σε αυτό το microgrid χωρίς να λαμβάνουν ενέργεια από της εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται στο macrogrid. Έτσι, οι πολλαπλές καταναμημένες γεννήτριες και η δυνατότητα απομόνωσης του microgrid από ένα μεγαλύτερο δίκτυο σε διαταραχή θα παράσχουν εξαιρετικά αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η Εικόνα 5 δείχνει ένα παράδειγμα ενός microgrid. Πιο αναλυτικά, το χαμηλότερο στρώμα παρουσιάζει μια φυσική δομή αυτού του microgrid, το οποίο περιλαμβάνει δύο ανεμογεννήτριες, δύο γεννήτριες ηλιακών συλλεκτών και ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης (Access Point - AP), τα οποία ανταλλάσσουν ισχύ χρησιμοποιώντας γραμμές ισχύος και ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω ασύρματου δικτύου βασισμένο σε AP. Το υψηλότερο στρώμα (μπλε) δείχνει τη ροή πληροφοριών μέσα σε αυτό το microgrid και το μεσαίο (κόκκινο) στρώμα δείχνει τη ροή ισχύος. Με έναν τέτοιο τρόπο, θα υπάρχει η δυνατότητα να παρέχεται μεγαλύτερη τοπική αξιοπιστία, συγκριτικά με αυτήν που παρέχεται από το σύστημα ενέργειας στο σύνολό του.



Εικόνα 5: Παράδειγμα ενός microgrid [9]

Επιπρόσθετα, ένα δεύτερο παράδειγμα, είναι η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο και η αλληλεπίδραση τους. Οι βασικοί λόγοι που τα πλήρως ηλεκτρικά, καθώς και τα υβριδικά ηλεκτρικά αυξάνουν συνεχώς τη δημοφιλία τους είναι αρχικά, το γεγονός ότι η τιμή των ορυκτών καυσίμων έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια λόγω της ελάττωσης τους και επιπλέον κάποιες χώρες, στα πλαίσια των μέτρων που λαμβάνουν για την κλιματική αλλαγή, προσφέρουν οικονομικά κίνητρα στους πολίτες για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Η συνεχώς αυξανόμενη ανάπτυξη και χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει δημιουργήσει δύο κατηγορίες, το Grid-to-Vehicle (G2V) και το Vehicle-to-Grid (V2G).

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τροφοδοτούνται από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που διαθέτουν, οι οποίες κάθε φορά που εξαντλούνται πρέπει να φορτιστούν από κάποια εξωτερική πηγή. Αυτή η τεχνολογία είναι απλή και κατανοητή, παρ' όλα αυτά, από τη σκοπιά του δικτύου ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα που δημιουργεί το σύστημα G2V είναι ότι η φόρτιση των μπαταριών αποτελεί ένα νέο και σημαντικά μεγάλο φορτίο για το υπάρχον σύστημα διανομής. Η ανοργάνωτη διείσδυση αυτών των φορτίων στο δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα, όπως σημαντική μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος, ακόμα και υπερφόρτωση.

Μία λύση για τον περιορισμό των παραπάνω επιπτώσεων, θα μπορούσε να αποτελέσει η βελτιστοποίηση του προφίλ φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει τα επιπλέον φορτία από τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων να μην αυξήσουν τη μέγιστη ζήτηση ισχύος και να παραμείνει όσο το δυνατόν πιο κοντά στα επίπεδα που ήταν πριν την εισχώρησή τους στο δίκτυο. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί οργανώνοντας τη διαδικασία της φόρτισης, έτσι ώστε διαφορετικά ηλεκτρικά οχήματα να μη φορτίζονται ταυτόχρονα, έχοντας ως αποτέλεσμα τη βελτίωση στις απώλειες ισχύος και στις διακυμάνσεις της τάσης.

Στο σύστημα V2G, τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν νέες δυνατότητες για παροχή και αποθήκευση ενέργειας στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, όταν είναι παρκαρισμένα και συνδεδεμένα στο δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιήσουν τους ηλεκτροκινητήρες τους για να παρέχουν ισχύ στο δίκτυο. Σύμφωνα με μία έρευνα στις Η.Π.Α., τα οχήματα κινούνται μόνο μία ώρα την ημέρα κατά μέσο όρο, επομένως τον περισσότερο χρόνο είναι σταθμευμένα και αδρανή. Υπάρχουν τρεις κύριες περιπτώσεις στις οποίες ένα όχημα μπορεί να συμβάλει στην παραγωγή ενέργειας:

1. Τα υβριδικά οχήματα ή τα οχήματα κυψελών καυσίμου, τα οποία παράγουν ενέργεια από αποθηκευμένα καύσιμα, μπορεί να χρησιμοποιήσουν τον κινητήρα τους για να παράγουν ενέργεια για το δίκτυο. Κάτι τέτοιο μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας, ιδιαίτερως κατά τις ώρες αιχμής. Αυτά τα οχήματα λειτουργούν ως καταναμημένες παραγωγές ενέργειας που παράγουν ενέργεια από συμβατικά ορυκτά καύσιμα ή υδρογόνο.
2. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλεονάζουσα χωρητικότητα της μπαταρίας, όταν αυτά είναι σταθμευμένα για να τροφοδοτούν με ενέργεια το δίκτυο σε ώρες αιχμής. Στη συνέχεια, αυτά τα οχήματα μπορούν να επαναφορτίζουν τη μπαταρία τους σε ώρες χαμηλής ζήτηση με χαμηλότερο κόστος. Σε αυτή την περίπτωση, τα οχήματα λειτουργούν ως καταναμημένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.
3. Τα ηλιακά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα για να παρέχουν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο, όταν

η μπαταρία τους είναι πλήρως φορτισμένη. Αυτά τα οχήματα λειτουργούν ως μικρά συστήματα καταναλωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Τα συστήματα V2G και G2V δεν είναι δύο ξεχωριστές έννοιες. Για παράδειγμα, στο V2G τα ηλεκτρικά οχήματα συνήθως χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι μεγάλη, έτσι ώστε να εξομαλυνθούν οι ακμές αλλά και να φορτίσουν τις μπαταρίες τους όταν η ζήτηση είναι χαμηλή για να ελαττωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι απώλειες ενέργειας. Το κύριο ζήτημα είναι το πως θα καθοριστούν οι κατάλληλες ώρες, κατά τη διάρκεια της ημέρας, για τη φόρτιση και αποφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η βέλτιστη λύση για τη μεγιστοποίηση του οφέλους των ιδιοκτητών των οχημάτων, καθώς και για την ικανοποίηση των εταιρειών κοινής ωφέλειας, μπορεί να αναζητηθεί με τη χρήση ενός δυαδικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO). Αυτός ο αλγόριθμος χαρακτηρίζεται ως επαναληπτικός, στοχαστικός και αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Η φύση της διαδικασίας αναζήτησης της λύσης είναι στοχαστική, επιτρέποντας έτσι στον αλγόριθμο να ξεπεράσει τα μη γραμμικά, μη διαφορικά και παροδικά προβλήματα.

### **3.2 Έξυπνο Υποσύστημα Πληροφορίας**

Η εξέλιξη των Έξυπνων Δικτύων, εκτός από τη βελτίωση για τη μεταφορά ενέργειας και την αναβάθμιση της τεχνολογίας των συστημάτων ενέργειας, βασίζεται επίσης και στη βελτιστοποίηση του ηλεκτρονικού συστήματος παρακολούθησης, ανάλυσης, βελτιστοποίησης και ελέγχου από τα δίκτυα παραγωγής ενέργειας ως τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Για να επιτευχθεί αυτή η υποστήριξη της παραγωγής πληροφοριών, χρησιμοποιείται ένα έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας και πιο συγκεκριμένα, μέσω της έξυπνης μέτρησης, η οποία αποτελεί το βασικό μηχανισμό για τη λήψη των πληροφοριών από τις συσκευές που κατέχουν οι τελικοί χρήστες.



### 3.2.1 Έξυπνοι μετρητές

Ο έξυπνος μετρητής ηλεκτρικού ρεύματος είναι μία από τις πιο σημαντικές συσκευές που χρησιμοποιείται στα Έξυπνα Δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένας μετρητής, ο οποίος καταγράφει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και περισσότερα ηλεκτρικά δεδομένα, όπως η τάση, το ρεύμα και η συχνότητα, και στη συνέχεια παρέχει αυτές τις πληροφορίες σε εταιρείες κοινής ωφέλειας ή στον εκάστοτε διαχειριστή του συστήματος για παρακολούθηση και τιμολόγηση. Όλες αυτές οι πληροφορίες, οι οποίες καταγράφονται από τον έξυπνο μετρητή για την χρήση της ενέργειας, προστατεύονται από σχετικούς νόμους για την προστασία των δεδομένων [12].

Σε έναν έξυπνο μετρητή χρησιμοποιούνται αρκετοί αισθητήρες και συσκευές ελέγχου, υποστηριζόμενοι από μία ειδική δομή επικοινωνίας με σκοπό να αυξήσουν την αποδοτικότητα της διαχείρισης του δικτύου. Με αυτήν την τεχνολογία αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο μετρείται η κατανάλωση ενέργειας. Αντί να χρεώνεται ο καθένας κάθε μήνα βάσει εκτιμώμενου ενεργειακού κόστους, με τους έξυπνους μετρητές μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική κατανάλωση ενέργειας σε καθημερινή βάση και να υπάρχει χρέωση με βάση την τιμή ενέργειας για κάθε δεδομένη ημέρα ή ακόμα και ώρα. Επιπλέον, οι ίδιοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα βοηθητικά προγράμματα για την ανίχνευση σφάλματος και την αποστολή σημείων διακοπής ή αποκατάστασης και συνολικά να παρέχουν πιο αξιόπιστη τροφοδοσία ρεύματος [13].

Το παραπάνω επιτυγχάνεται χάρη στην Προηγμένη Υποδομή Μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure - AMI), η οποία είναι ουσιαστικά η αμφίδρομη επικοινωνία των έξυπνων μετρητών με το πληροφοριακό σύστημα των προμηθευτών κοινής ωφέλειας μέσω ενός ασφαλούς δικτύου η οποία μπορεί να γίνει είτε ασύρματα είτε μέσω σταθερών ενσύρματων συνδέσεων, όπως είναι το φερέσυχο (Power Line Communication - PLC) [14]. Πιο αναλυτικά, αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: έξυπνες συσκευές μέτρησης για τον τελικό χρήστη, διαδρομή αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ τελικού χρήστη και βοηθητικό πρόγραμμα και αυτοματοποιημένο λογισμικό και κέντρο λειτουργίας για την επεξεργασία δεδομένων [13]. Τέλος, παρέχει έξυπνη διαχείριση, καλύτερη συντήρηση, ευκολότερες και σωστές προσθήκες με αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητα ισχύος.

## Λειτουργίες και Οφέλη του Έξυπνου Μετρητή

Ανάμεσα στις συνηθέστερες λειτουργίες που αναμένεται να έχει ένας έξυπνος μετρητής, εκτός από τη λειτουργία αμφίδρομης επικοινωνίας (two-way communication function), είναι η συλλογή, καταγραφή και αποθήκευση δεδομένων. Αξιοσημείωτες είναι όμως και οι λειτουργίες ελέγχου φορτίου (load control function), προγραμματισμού και ασφάλειας, καθώς και οι λειτουργίες απεικόνισης και χρέωσης. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα πραγματικό μοντέλο ενός έξυπνου μετρητή:



Εικόνα 6: Μοντέλο Έξυπνου Μετρητή [14]

Είναι αξιοσημείωτο ότι τα οφέλη για την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών είναι πολλά και αφορούν πολλούς ενδιαφερόμενους σε διάφορες πτυχές του έξυπνου δικτύου. Ειδικότερα, εστιάζουμε παρακάτω στα πλεονεκτήματα, τα οποία υπάρχουν για τους καταναλωτές και τους προμηθευτές [15].

### Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή:

- Εξοικονόμηση χρημάτων: Οι λογαριασμοί ηλεκτρικής ενέργειας είναι όσο το δυνατόν ακριβέστεροι χάρη στις πληροφορίες που συλλέγονται και έτσι οι καταναλωτές διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας με σκοπό να μειώσουν τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές για να πραγματοποιήσουν την τιμολόγηση (σε πραγματικό χρόνο και μη) στέλνονται σε μηνιαία συχνότητα ή προαιρετικά ακόμα και καθημερινά [12]. Τα δεδομένα αυτά μπορούν και ληφθούν για ανάγνωση ακόμα και εξ' αποστάσεως αλλά δίνουν και τη δυνατότητα ευέλικτων συστημάτων τιμολόγησης που θα επιτρέπει μεταξύ άλλων και την προπληρωμή χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης: Γνωρίζοντας από το πληροφοριακό σύστημα του προμηθευτή την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, ανά πάσα χρονική στιγμή, μπορούν να περιορίσουν την κατανάλωση τις ώρες αιχμής και επομένως να βοηθήσει τον κάθε καταναλωτή να χρησιμοποιήσει ενέργεια με μεγαλύτερη σύνεση και να αποφύγει τις περιττές σπατάλες και τις περιβαλλοντικές συνέπειες.
- Οικιακός αυτοματισμός: Χάρη στην καταγραφή της κατανάλωσης της ενέργειας από τους έξυπνους μετρητές, δίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς είναι εφικτό να ρυθμιστούν οι συσκευές, οι οποίες καταναλώνουν πολλή ενέργεια, σύμφωνα με τις ανάγκες του σπιτιού και να λειτουργούν τις ώρες με χαμηλότερη χρέωση.
- Εναλλαγή παρόχου: Καθώς παρατηρείται απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και στην Ελλάδα τον τελευταίο καιρό, οι καταναλωτές μπορούν πλέον να αλλάξουν τον πάροχο ενέργειας. Έτσι, όσο εκσυγχρονίζεται η αγορά ενέργειας, θα αρχίσουν να εμφανίζονται νέοι προμηθευτές και τιμολόγια αποκλειστικά για τους ιδιοκτήτες έξυπνων μετρητών, προσφέροντάς στους καταναλωτές περισσότερες επιλογές και κίνητρα για μετάβαση.

#### Πλεονεκτήματα για τον προμηθευτή:

- Προστασία από ενδεχόμενη απάτη: Χάρη στους έξυπνους μετρητές, παρέχονται τεχνικές ανίχνευσης απάτης, οι οποίες βασίζονται στη θεωρία παιγνίων, την ταξινόμηση και στην εκτίμηση της κατάστασης, με αποτέλεσμα τα έσοδα του προμηθευτή να προστατεύονται.
- Σύνδεση/Αποσύνδεση υπηρεσίας: Η αυτοματοποιημένη σύνδεση/αποσύνδεση βοηθάει στη μείωση χρόνου εξυπηρέτησης των πελατών, καθώς οι νέες συνδέσεις γίνονται άμεσα από τους παρόχους, όπως αντίστοιχα και η διακοπή υπαρχουσών συνδέσεων. Επίσης, σε περίπτωση που ο πελάτης-καταναλωτής έχει απλήρωτο ληξιπρόθεσμο ποσό, ο πάροχος έχει τη δυνατότητα άμεσης διακοπής ή επανασύνδεσης με την εξόφληση του ποσού.
- Βελτίωση της διαχείριση φορτίου: Οι προμηθευτές θα μπορούν να παρέχουν στους πελάτες συμβάσεις, με τις οποίες θα τους επιτρέψει να ρυθμίζουν απομακρυσμένα το φορτίο του πελάτη, κρατώντας έτσι ασφαλή τα επίπεδα ενέργειας, όπως και να μειώσει τις δαπάνες.
- Πρόβλεψη αναγκών: Με βάση το ιστορικό κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να γίνει πρόβλεψη για τη μελλοντική χρήση ενός καταναλωτή, κάτι που βελτιώνει τη διαχείριση του δικτύου αλλά βοηθάει τους προμηθευτές και στον κατάλληλο προγραμματισμό.

Επιπρόσθετα, παρατηρείται όφελος για τις κυβερνήσεις, καθώς η οικονομία μπορεί να τονωθεί μέσω των δικτύων έξυπνων μετρητών. Ειδικότερα, όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), τα περισσότερα έργα, τα οποία βρίσκονται σε εξέλιξη αφορούν τους έξυπνους μετρητές. Κατά την περίοδο 2008-2013, οι επενδύσεις σε έξυπνα δίκτυα ανέρχονταν σε 200 εκατομμύρια ευρώ ετησίως και προέρχονταν κυρίως από ιδιωτικά κεφάλαια (49%), θεσμικά όργανα της ΕΕ (22%), εθνικές κυβερνήσεις (18%) και ρυθμιστικούς οργανισμούς (9%), ενώ η υπόλοιπη χρηματοδότηση 2% δεν έχει κατηγοριοποιηθεί. Με αυτό τον τρόπο, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να απελευθερώνεται κι έτσι, να ενισχύεται και ο

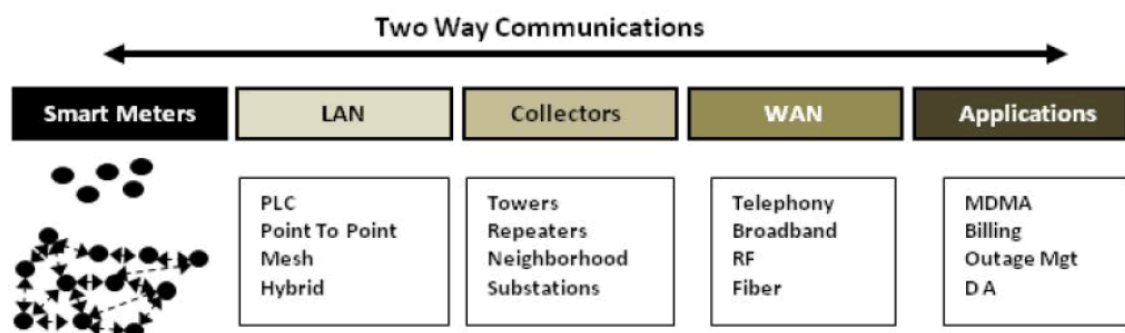
ανταγωνισμός, επιφέροντας ανταγωνιστικές τιμές ενέργειας και προσφέροντας ένα πιο ιδανικό έδαφος για επενδύσεις. Παράλληλα παρατηρείται βελτίωση και από περιβαλλοντική πλευρά, με την εκπομπή CO<sub>2</sub> να μειώνεται σημαντικά. Η προστασία του περιβάλλοντος έχει τεθεί ως βασικός στόχος της ΕΕ ενώ, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο, πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

### Τεχνολογίες Επικοινωνιών Έξυπνων Μετρητών

Τα συστήματα έξυπνων μετρητών ποικίλλουν στην τεχνολογία και στο σχεδιασμό, λειτουργούν όμως σύμφωνα με μια απλή διαδικασία. Οι έξυπνοι μετρητές συλλέγουν στοιχεία από τους τελικούς καταναλωτές και διαβιβάζουν αυτές τις πληροφορίες δεδομένων μέσω της Τοπικής Περιοχής Δικτύου (LAN) στο συλλέκτη δεδομένων. Αυτή η διαδικασία μετάδοσης μπορεί να εκτελεστεί κάθε 15 λεπτά ή ακόμη και λιγότερο συχνά, όπως μια φορά την ημέρα με βάση την απαίτηση της ζήτησης δεδομένων.

Στη συνέχεια, ο συλλέκτης ανακτά τα δεδομένα και έπειτα τα μεταδίδει. Τα σημεία κεντρικής συλλογής κοινής ωφέλειας τα επεξεργάζονται περαιτέρω χρησιμοποιώντας το δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network- WAN) και δεδομένου ότι η διαδρομή επικοινωνίας είναι αμφίδρομη, τα σήματα ή οι εντολές μπορούν να σταλούν απευθείας στους μετρητές, την εγκατάσταση του πελάτη ή τη συσκευή διανομής.

Η Εικόνα 7 δείχνει τη βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος Έξυπνου Μετρητή:



Εικόνα 7: Βασική αρχιτεκτονική συστήματος έξυπνου μετρητή [16]

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων έξυπνου μετρητή με τεχνολογίες επικοινωνιών είτε ραδιοσυχνότητας (RF) είτε Power-line Communication (PLC). Για το ποια τεχνολογία θα επιλεγεί, απαιτείται αξιολόγηση και ανάλυση των υφιστάμενων αναγκών ώστε να λάβουν μελλοντικά τα ζητούμενα οφέλη. Για την επικοινωνία των έξυπνων μετρητών με τον εκάστοτε πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι τεχνολογιών:

- Φερέσυχνα (Power Line communication-PLC και Distribution Line Communication - DLC)
- Διαδικτυακό πρωτόκολλο (TCP/IP)
- Ασύρματη τεχνολογία (GPRS/GSM)
- Ραδιοσυχνότητα

Αναλυτικότερα, η τεχνολογία PLC υπερτερεί στο γεγονός ότι μπορεί να βελτιώσει τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας για τις αγροτικές γραμμές και να το κάνουν δυνατό να λειτουργήσει για απομακρυσμένες περιοχές ή για μεγάλες αποστάσεις. Βέβαια, σε αυτήν την περίπτωση, ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων είναι μεγαλύτερος από το να γίνεται ασύρματα, το εύρος ζώνης είναι μικρότερο και το κόστος είναι υψηλότερο από αυτό που υπάρχει στις πόλεις. Οι παραπάνω τεχνολογίες αναλύονται στο υποκεφάλαιο 3.3.

### 3.2.2 Εξέλιξη Μετρητικών Συστημάτων

#### A. Χειροκίνητη ανάγνωση μετρήσεων - Manual Meter Reading (MMR)

Παραδοσιακά η ανάγνωση των μετρήσεων γινόταν χειροκίνητα. Προκειμένου να καταγραφούν οι συσσωρευμένες αναγνώσεις των μετρητών έπρεπε κάποιος να επισκεφτεί τους μετρητές, συνήθως σε μηνιαία βάση. Αυτό περιελάμβανε το να επισκεφτεί κανείς απομακρυσμένες τοποθεσίες ή κτήρια, τα οποία κάποιες φορές ήταν μη προσβάσιμα για την καταγραφή των μετρήσεων, όπως και για τη συντήρηση των μετρητών.

#### B. Ηλεκτρονική ανάγνωση μετρήσεων - Electronic Meter Reading

Η ιδέα της ηλεκτρονικής ανάγνωσης μετρήσεων ήρθε ως απάντηση στο ερώτημα πως είναι κάποιος ικανός να διαβάσει την ενεργειακή κατανάλωση πιο αποτελεσματικά. Το πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση ήταν η τεχνολογία ηλεκτρονικής ανάγνωσης μετρήσεων (electronic meter reading - EMR), η οποία κατά βάση αναπτύχθηκε για βιομηχανικούς καταναλωτές, ενώ χρησιμοποιείται ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις [17]. Με την εισαγωγή αυτής της τεχνολογίας, οι αναγνώστες των μετρητών δεν χρειάζονταν πια να εισέρχονται σε μηνιαία βάση στα καταστήματα ή κτήρια των πελατών ούτως ώστε να καταγράψουν τις καταναλώσεις.

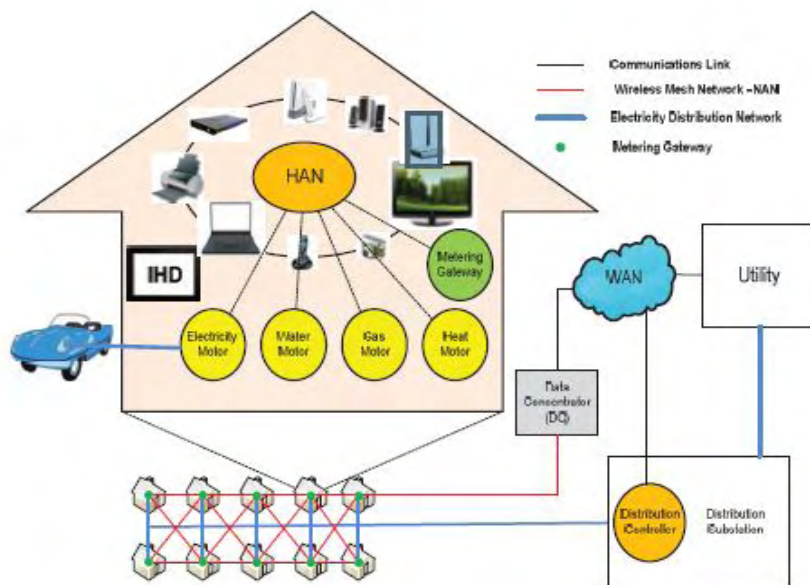
Στις περισσότερες τεχνολογίες τέτοιου τύπου, ο μετρητής είναι εξοπλισμένος με πομπό ραδιοσυχνότητας, ο οποίος επιτρέπει τη μετάδοση της μέτρησης στον δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, ο δέκτης μπορεί να είναι είτε μία συσκευή χειρός εγκατεστημένη σε ένα όχημα είτε να χρησιμοποιεί ένα δίκτυο ραδιοσυχνοτήτων που συλλέγει και διανέμει τις αναγνώσεις στις εταιρίες κοινής ωφέλειας. Οι επικοινωνίες από το μετρητή μέχρι το δέκτη μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω ενός ασύρματου δικτύου επικοινωνίας.

#### Γ. Αυτοματοποιημένη ανάγνωση μετρήσεων - Automated Meter Reading (AMR)

Πρόσφατα, η τεχνολογία ανάγνωσης μετρήσεων έχει εξελιχθεί με την είσοδο των συστημάτων αυτόματης ανάγνωσης μετρήσεων. Τα συστήματα αυτά είναι η απομακρυσμένη συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων κατανάλωσης, που παράγονται από τους μετρητές των πελατών, χρησιμοποιώντας κάποια τεχνολογία επικοινωνιών από τις εταιρίες κοινής ωφέλειας, ώστε να δημιουργήσουν τους λογαριασμούς.

Προκειμένου οι μετρητές νερού και φυσικού αερίου να έχουν την δυνατότητα να επικοινωνήσουν μέσω PLC, μία λύση είναι να προωθούν την κατάσταση κατανάλωσής τους στο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος μετά μπορεί να μεταφέρει την πληροφορία χρησιμοποιώντας PLC. Σε μία τέτοια περίπτωση, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται ως πύλη του PLC δικτύου για τους άλλους μετρητές μιας εγκατάστασης, όπως του φυσικού αερίου, νερού ή άλλων

πόρων. Οι μετρητές από μόνοι τους μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες χρησιμοποιώντας ένα ασύρματο πρωτόκολλο, για παράδειγμα το ZigBee, ενώ επικοινωνούν με το συγκεντρωτή δεδομένων χρησιμοποιώντας PLC. Μία άλλη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί μία μονάδα επικοινωνίας πολλών χρήσεων - Multi Utility Communication (MUC), η οποία συγκεντρώνει πληροφορίες από μετρητές από διαφορετικές εταιρίες κοινής ωφέλειας και μεταδίδει τις μετρήσεις μέσω Internet ή μέσω ενός ιδιόκτητου δικτύου στον πάροχο της εκάστοτε υπηρεσίας μετρήσεων [17]. Το MUC μπορεί επίσης να συνδεθεί με εφαρμογές για την απεικόνιση των καταναλώσεων σε πραγματικό χρόνο (In House Display), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 8: Τυπικά στοιχεία ενός έξυπνου συστήματος μέτρησης [17]

#### Δ. Προηγμένες υποδομές μετρήσεων - Advanced Metering Infrastructure (AMI)

Τα πλεονεκτήματα μιας αμφίδρομης αλληλεπίδρασης μεταξύ των μερών του συστήματος, όπως οι καταναλωτές, οι διαχειριστές και οι πόροι οδήγησαν στην εξέλιξη των AMR σε AMI. Οι προηγμένες υποδομές μετρήσεων είναι υποδομές επόμενης γενιάς που περιλαμβάνουν έξυπνους μετρητές, οικιακά δίκτυα, δίκτυα επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων μετρητών, δίκτυα επικοινωνίας μεταξύ μετρητών και υπηρεσιών, συστήματα διαχείρισης κτηρίου, συστήματα διαχείρισης μετρητικών



δεδομένων και τα λοιπά. Χάρη στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των μετρητών και των εταιριών κοινής ωφέλειας, ο μετρητής μπορεί να ελέγχεται απομακρυσμένα, δηλαδή να δίνεται η οδηγία για απομακρυσμένη σύνδεση ή αποσύνδεση ή ακόμα και για την αναβάθμιση μίας νέας υπηρεσίας.

#### Ε. Πύλες Έξυπνων Μετρήσεων - Smart Metering Gateways

Εδώ, ο όρος “Gateway” αναφέρεται σε μία πρόσφατη προσέγγιση στις έξυπνες μετρήσεις που προτάθηκε από Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, δεν χρησιμοποιείται μόνο ως μονάδα επικοινωνίας και ελέγχου μεταξύ των μετρητών και τα κέντρα δεδομένων των παρόχων, αλλά είναι επίσης υπεύθυνη για τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας του πελάτη. Επίσης, είναι υπεύθυνη για τους έξυπνους μετρητές και άλλες έξυπνες συσκευές εγκατεστημένες σε ένα σπίτι ή σε ένα χώρο. Η πύλη αυτή επικοινωνεί περιοδικά με τους διακομιστές των εταιριών κοινής ωφέλειας μέσω ενός δικτύου ευρείας περιοχής (WAN). Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός Gateway είναι [17]:

- Απομακρυσμένη σύνδεση και αποσύνδεση
- Απομακρυσμένη αναβάθμιση firmware
- Τιμολόγηση
- Υποστήριξη πολλαπλών προμηθευτών
- Διαλειτουργικότητα

#### 3.2.3 Έξυπνη παρακολούθηση

Μια σημαντική λειτουργία στο φάσμα του SG είναι η παρακολούθηση και η μέτρηση της κατάστασης τους δικτύου. Στη συνέχεια, αναλύονται οι δύο βασικές προσεγγίσεις παρακολούθησης και μετρήσεων, οι αισθητήρες και οι μονάδες μέτρησης φάσης.

Αισθητήρες: Οι αισθητήρες ή τα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται ήδη για διάφορους σκοπούς. Για την ανίχνευση μηχανικών αστοχιών στα ενεργειακά δίκτυα, όπως επί παραδείγματι αστοχίες σε αγωγούς, ακραίες μηχανικές καταστάσεις, έχει προταθεί τα δίκτυα αισθητήρων να ενσωματώνονται στα ενεργειακά δίκτυα ώστε να

βοηθούν στην εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο των μηχανικών και ηλεκτρικών συνθηκών των γραμμών μεταφοράς, να αποκτούν μια πλήρη εικόνα του ενεργειακού συστήματος και πάλι σε πραγματικό χρόνο, να διαγιγνώσκουν επικείμενα ή μόνιμα σφάλματα και να καθορίζουν τα απαραίτητα μέτρα ελέγχου που θα μπορούσαν να ληφθούν αυτόματα ή από τους χειριστές του συστήματος, όταν εμφανιστεί μία ακραία μηχανική κατάσταση σε κάποια γραμμή μεταφοράς.

Πιο συγκεκριμένα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSN, δεδομένου του χαμηλού τους κόστους, μπορούν να παρέχουν μία εφικτή οικονομικά και αποτελεσματική πλατφόρμα αισθητήρων και επικοινωνίας για ένα σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης και διάγνωσης. Με τη βοήθεια των WSN, ένα απρόοπτο του συστήματος στο δίκτυο θα μπορούσε να ανιχνευθεί και να απομονωθεί πριν να προκαλέσει μία σειρά από προβλήματα και να οδηγήσει σε καταστροφικές βλάβες του συστήματος.

Η χρήση των δικτύων αισθητήρων στο SG έχει πολλά προαπαιτούμενα, όπως αυτά αναφέρονται παρακάτω [9]:

- Απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας: Οι πληροφορίες, οι οποίες παράγονται από τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να συσχετιστούν με κάποια δεδομένα απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσιών (QoS), όπως η αξιοπιστία, η αφάνεια και η διακίνηση του δικτύου. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που σχετίζονται με τις αστοχίες του δικτύου, θα πρέπει να λαμβάνονται από τον ελεγκτή με έγκαιρο τρόπο. Επίσης, θα πρέπει να παρέχει μηχανισμούς, οι οποίοι να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας.
- Περιορισμοί πόρων: Οι κόμβοι των αισθητήρων είναι συνήθως χαμηλού κόστους και περιορισμένης χρήσης πόρων. Έτσι, τα προγράμματα ελέγχου για τα δίκτυα αισθητήρων θα έπρεπε να είναι ενεργειακά αποδοτικά.

- Απομακρυσμένη συντήρηση και διαμόρφωση: Οι αισθητήρες πρέπει να είναι προσβάσιμοι από απόσταση και να διαμορφώνονται έτσι ώστε τα δίκτυα αισθητήρων να μπορούν να διατηρούνται εύκολα και γρήγορα, παρόλο που είναι απομακρυσμένα.
- Υψηλές απαιτήσεις ασφαλείας: Η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Με τους συμβατικούς αισθητήρες, οι επιτιθέμενοι μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.
- Δριμείς συνθήκες περιβάλλοντος: Στα περιβάλλοντα των SG, οι αισθητήρες είναι πιθανό να υποστούν μεταβολές εξαιτίας των παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων (RF), των καυστικών ή διαβρωτικών περιβαλλόντων, των υψηλών επιπέδων υγρασίας, των δονήσεων, των ρύπων και της σκόνης ή άλλων συνθηκών που ενδέχεται να προκαλέσουν δυσλειτουργία σε ένα τμήμα των κόμβων αισθητήρων. Για το σχεδιασμό του δικτύου αισθητήρων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση επιβίωσης, δηλαδή το δίκτυο αισθητήρων να εξακολουθεί να είναι συνδεδεμένο ή οι κρίσιμες περιοχές του να συνεχίζουν να παρακολουθούνται εάν αποτύχουν ορισμένοι αισθητήρες.

Μονάδα μέτρησης φάσora – Phasor Measurement Unit (PMU): Οι πρόσφατες εξελίξεις στα SG έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον για τη χρήση PMUs στη δημιουργία αξιόπιστης υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Ένα PMU μετράει τις κυματομορφές τάσης και ρεύματος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο για να προσδιορίσει την κατάσταση του συστήματος. Οι μετρήσεις του φάσora που γίνονται την ίδια στιγμή ονομάζονται “synchrophasor” [9], όπως επίσης και οι συσκευές των PMUs που επιτρέπουν τη μέτρησή τους. Γενικά, οι μετρήσεις PMU λαμβάνονται από ευρέως διασκορπισμένες θέσεις σε ένα δίκτυο συστήματος τροφοδοσίας και συγχρονίζονται χρησιμοποιώντας GPS. Με μεγάλο αριθμό μονάδων PMU και τη δυνατότητα σύγκρισης σχημάτων από μετρήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) παντού στο δίκτυο, οι φορείς εκμετάλλευσης

συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα δειγματοληψίας για να μετρήσουν την κατάσταση του συστήματος ισχύος και να ανταποκριθούν στις συνθήκες του συστήματος με ένα γρήγορο και δυναμικό τρόπο.

Οι μετρήσεις φασόρων που χρησιμοποιούν συγχρονισμό βασισμένο σε GPS, παρουσιάστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1980, και πιο συγκεκριμένα, από μια ερευνητική ομάδα της Virginia Tech ανέπτυξε το πρώτο πρότυπο PMU το 1988 [9]. Αργότερα, η εργασία σχετικά με το δίκτυο παρακολούθησης συχνοτήτων (FNET), χρησιμοποίησε ένα δίκτυο χαμηλού κόστους, υψηλής ακρίβειας συσκευών καταγραφής διαταραχών συχνότητας, για τη συλλογή δεδομένων “synchrophasor” από το ηλεκτρικό δίκτυο των Η.Π.Α. Η τρέχουσα ιεραρχία του συστήματος FNET είναι κατάλληλη για μεταφορά, επεξεργασία, αποθήκευση και χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων. Σε αυτό το σύστημα έχουν αναπτυχθεί και ενσωματωθεί μια ποικιλία εφαρμογών, κυρίως σχετικές με τη δυναμική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.

Η πρώιμη έρευνα σχετικά με τις εφαρμογές της τεχνολογίας PMU επικεντρώθηκε κυρίως στην επικύρωση των μοντέλων συστημάτων και στην εκ των υστέρων αλλά λεπτομερή ανάλυση [9]. Παρ’ όλα αυτά, οι φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων έχουν την ικανότητα να αναπτύξουν διαδικασίες εκτίμησης κατάστασης συστήματος και λειτουργίες προστασίας συστημάτων σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πλέον μπορούν να ληφθούν δεδομένα ευρείας κλίμακας PMU σε πραγματικό χρόνο, με απώτερο σκοπό να καταστήσουν το σύστημα απρόσβλητο σε καταστροφικές βλάβες. Πολλές χώρες έχουν εγκαταστήσει PMUs στα δίκτυα τους για περαιτέρω έρευνα ή/και ανάπτυξη προτύπων, κάτι που αποτελεί μια σημαντική κίνηση.

#### 3.2.4 Συστήματα παρακολούθησης βασισμένα σε Internet of Things (IoT)

Το σύστημα παρακολούθησης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του IoT στα έξυπνα δίκτυα, και πιο συγκεκριμένα, στην πρόληψη και στη μείωση των βλαβών στις γραμμές μεταφοράς. Στις μέρες μας, οι φυσικές καταστροφές δημιουργούν πολλές προκλήσεις στις εγκαταστάσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής ισχύος, όσον αφορά την ασφάλεια, τη σταθερότητα και την αξιοπιστία. Επιπλέον, οι τρέχουσες διαδικασίες

παρακολούθησης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται κυρίως με χειροκίνητες λειτουργίες, οι οποίες αντιμετωπίζουν προβλήματα χαμηλής αποτελεσματικότητας και ακρίβειας, επιπλέον έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε χρόνο.

Αυτή τη στιγμή, αρκετά συστήματα παρακολούθησης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε λειτουργία. Τα συστήματα αυτά συχνά χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα, όπως το 3G ή και άλλα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας για μεταφορά δεδομένων του κάθε αισθητήρα. Η ανάπτυξη των συγκεκριμένων συστημάτων περιορίζεται καθώς υπάρχουν κάποια προβλήματα, όπως το υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, η ανεπαρκής κάλυψη του δικτύου, ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η σύνθετη συντήρηση του δικτύου.

Προκειμένου να επιτευχθεί η απευθείας σύνδεση και η παρακολούθηση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ασύρματοι αισθητήρες οι οποίοι μετράνε την ταλάντωση, τη θερμοκρασία, την παγοποίηση και γενικά τις μετεωρολογικές συνθήκες των αγωγών μπορούν να αναπτυχθούν στις γραμμές υψηλή τάσης.

Τα συστήματα παρακολούθησης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι εγκατεστημένο κατά μήκος των γραμμών για να παρακολουθείται η κατάσταση των αγωγών, ενώ το δεύτερο μέρος είναι εγκατεστημένο στους πύργους μεταφοράς για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και της κατάστασης των πύργων. Η επικοινωνία μεταξύ των IoT συσκευών στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και στους πύργους συχνά βασίζεται σε τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας μικρής απόστασης.

Το βασισμένο σε IoT σύστημα παρακολούθησης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταδίδει τις πληροφορίες πιο μακριά μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας με αναμετάδοση (multi-hop relay communication), το οποίο μπορεί να εξασφαλίσει αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών για τις μεγάλων αποστάσεων εγκαταστάσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [18]. Σύμφωνα με διάφορες εφαρμογές, η τοπολογία του δικτύου του συστήματος μπορεί να είναι

τύπου αλυσίδας συμπλεγμάτων, όπου διάφορα συμπλέγματα δικτύων σχηματίζουν μια αλυσίδα δικτύου για να καλύψουν τη γραμμή μεταφοράς ισχύος.

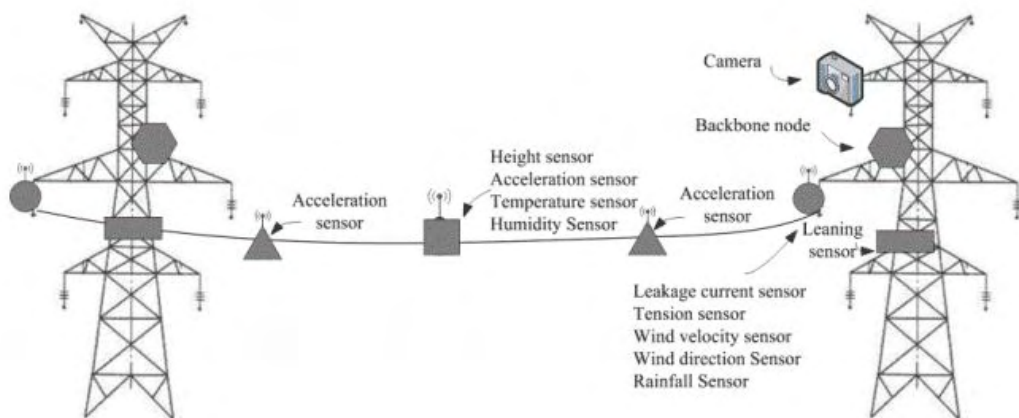
Τα επιμέρους αντικείμενα για παρακολούθηση είναι:

1. Κατάσταση στατικότητας πύργου μετάδοσης: Αυτοί οι αισθητήρες μεταδίδουν την κατάσταση στατικότητας του πύργου μετάδοσης, στον κοντινό κεντρικό κόμβο, ο οποίος συγχωνεύει τα δεδομένα από αρκετούς αισθητήρες ώστε να σχηματίσει την πληροφορία του πύργου μετάδοσης και να πραγματοποιήσει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και έγκαιρη ειδοποίηση.
2. Ταλάντωση αγωγών: Σύμφωνα με υπολογισμούς και αναλύσεις της επιτάχυνσης του σημείου της παρακολούθησης, ο αριθμός των κάθετων και οριζόντιων μισών κυμάτων των αγωγών που ταλαντώνονται, μπορεί να αναλυθεί και να υπολογιστεί το διάστημα κίνησης. Έτσι, αν ο αγωγός βρίσκεται σε επικίνδυνη ταλάντωση, μπορεί να αποφασιστεί η αποφόρτιση και να αποφευχθεί πιθανό βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων.
3. Απόκλιση ανέμου: Η απόκλιση ανέμου μπορεί να υπολογιστεί με έναν αισθητήρα επιτάχυνσης τριών διαστάσεων που εφαρμόζεται στους αγωγούς. Τα δεδομένα απόκλισης ανέμου προκύπτουν από τον αισθητήρα ταχύτητας ανέμου και ο αισθητήρας επιτάχυνσης παρέχει δεδομένα του πεδίου ελέγχου για την επαλήθευση της απόκλισης ανέμου του αγωγού. Το προσωπικό λειτουργίας μπορεί να πάρει τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση της απόκλισης ανέμου και να βρει το σημείο αποσύνδεσης.
4. Μικρο-μετεωρολογία: Η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, η ηλιοφάνεια και η βροχόπτωση μπορούν να καταγράφονται από ασύρματους αισθητήρες κατά μήκος των αγωγών ή στους πύργους
5. Πάγωμα των αγωγών: Το πάγωμα των αγωγών μπορεί να προσδιοριστεί από τα αποτελέσματα των αισθητήρων μικρο-μετεωρολογίας και των αισθητήρων τάσης. Το σύστημα ανάλυσης δεδομένων στο κέντρο παρακολούθησης αναλύει τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους

αισθητήρες και παίρνει αποφάσεις έγκαιρης προειδοποίησης. Έτσι, το “ice flashover” μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ή να αποφευχθεί.

6. Δόνηση ανέμου: Οι αισθητήρες επιτάχυνσης χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν τις δονήσεις που προκαλούνται στους αγωγούς λόγω ανέμου. Η συχνότητα των δονήσεων καθώς και το εύρος τους καταγράφονται και αναλύονται. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία και η φθορά του αγωγού μπορούν να αναλυθούν.
7. Θερμοκρασία αγωγών: Η θερμοκρασία των αγωγών μετρείται από τους ασύρματους αισθητήρες θερμοκρασίας κατά μήκος των αγωγών.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται και αποτελούν το σύστημα παρακολούθησης των γραμμών και των πύργων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 9: οι αισθητήρες μετεωρολογικών συνθηκών, για παράδειγμα αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ανέμου κ.ά., αισθητήρες δόνησης, υπερηχητικούς αισθητήρες, αισθητήρες υπέρυθρων, αισθητήρες διαρροής ρεύματος, κάμερες και κεντρικούς κόμβους.



Εικόνα 9: Εφαρμογή αισθητήρων στο δίκτυο μεταφοράς [18]

Οι κεντρικοί αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα από τους κοντινούς ασύρματους αισθητήρες και μεταδίδουν τη συνολική πληροφορία στο κέντρο παρακολούθησης μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή του ιδιωτικού δικτύου ισχύος ώστε να επιτευχθεί μετάδοση της πληροφορίας σε μακρινή απόσταση με ευέλικτο, εύκολο

και με μεγάλη ταχύτητα τρόπο καθώς και αξιόπιστη και υψηλής ποιότητας διασύνδεση μεταξύ των εγκαταστάσεων και του κέντρου παρακολούθησης.

Το online σύστημα παρακολούθησης των γραμμών μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιεί παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, παρέχει πληροφορίες, στατιστικά στοιχεία και αναλύσεις μέσω του συστήματος διαχείρισης πληροφοριών. Η κατάσταση του συστήματος μεταφοράς παρουσιάζεται οπτικά και το προσωπικό μπορεί να παίρνει πληροφορίες και να δίνει εντολές σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων του συστήματος και συνεπώς να προλαμβάνει και να ανιχνεύει, όπως και να αποκλείει κρυφούς κινδύνους το νωρίτερο δυνατό και να εξασφαλίζει την αξιόπιστη λειτουργία των εγκαταστάσεων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3.3 Έξυπνο Υποσύστημα Επικοινωνίας**

#### **3.3.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών**

Το σύστημα επικοινωνίας είναι ένα από τα κύρια συστατικά της δομής του έξυπνου δικτύου. Με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών και εφαρμογών, για να επιτευχθεί ευφύεστερη υποδομή ηλεκτρικού δικτύου, παράγεται ένας μεγάλος όγκος δεδομένων από διαφορετικές εφαρμογές για περαιτέρω ανάλυση, έλεγχο και τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό για τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να καθορίσουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας και να βρουν την κατάλληλη υποδομή επικοινωνιών ώστε να μπορούν να χειριστούν το μεγάλο όγκο δεδομένων και να παρέχουν αξιόπιστη, ασφαλή και οικονομικά αποδοτική λειτουργία σε όλο το σύστημα.

Διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνιών που υποστηρίζονται από τα δύο κύρια μέσα επικοινωνίας, δηλαδή ενσύρματα και ασύρματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ενσύρματες τεχνολογίες, όπως το χαμηλό κόστος υποδομής και την ευκολία σύνδεσης σε δύσκολες ή απρόσιτες περιοχές. Ωστόσο ενδέχεται η φύση της διαδρομής μετάδοσης να εξασθενήσει το σήμα και να χρειάζεται πιο πολύπλοκη



υποδομή για να επιτευχθεί ομαλά η επικοινωνία. Από την άλλη πλευρά οι ενσύρματες λύσεις δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα με παρεμβολές και η λειτουργικότητα τους δεν εξαρτάται από τις μπαταρίες όπως συμβαίνει στις ασύρματες .

Το σύστημα επικοινωνίας του έξυπνου δικτύου διαχωρίζεται, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 10, στις ακόλουθες κατηγορίες [19]:

- Ο έξυπνος μετρητής, ο οποίος είναι μια συσκευή αμφίδρομης επικοινωνίας με σκοπό να καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Home Area Network (HAN) το οικιακό δίκτυο, το οποίο είναι ένα δίκτυο πληροφόρησης και επικοινωνίας που διαμορφώνεται από τις συσκευές μέσα σε ένα σπίτι.
- Neighborhood Area Network (NAN) το δίκτυο όπου συγκεντρώνονται δεδομένα από πολλά HANs και διανέμονται στο συγκεντρωτή δεδομένων.
- Wide Area Network (WAN) είναι το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων, το οποίο μεταφέρει τα δεδομένα των μετρήσεων στα κέντρα δεδομένων του δικτύου.



Εικόνα 10: Η αρχιτεκτονική του συστήματος επικοινωνιών [19]

Το σύστημα επικοινωνίας ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου αποτελείται από δυο βασικά κομμάτια. Το πρώτο αφορά την ροή πληροφοριών από τους αισθητήρες και τις ηλεκτρικές συσκευές προς τους έξυπνους μετρητές, ενώ το δεύτερο είναι για την

επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και το κέντρο δεδομένων του δικτύου. Η πρώτη ροή δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί με plc ή με ασύρματη επικοινωνία, όπως ZigBee, 6LowPAN, Z-wave. Για τη δεύτερη ροή προτείνεται το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ή μέσω διαδικτύου [20].

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν βασικοί περιοριστικοί οροί που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την υλοποίηση της επικοινωνίας, όπως ο χρόνος για την ανάπτυξη του δικτύου, τα λειτουργικά κόστη, η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας και η περιοχή που θα εγκατασταθεί, δηλαδή το αν θα είναι αστική ή όχι, σε εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση, η τεχνολογία θα επιλεγεί με διαφορετικά κριτήρια που θα καλύπτουν τις ανάγκες της εκάστοτε εγκατάστασης. Παρακάτω θα αναφερθούν, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, οι κυριότερες τεχνολογίες επικοινωνιών που συναντάμε στα έξυπνα δίκτυα.

#### *3.3.1.1 ZigBee*

Το ZigBee είναι ένα πρότυπο που καθορίζει ένα σύνολο από πρωτόκολλα επικοινωνίας για χαμηλού ρυθμού μετάδοση δεδομένων, μικρής εμβέλειας ασύρματων δικτύων. Η τεχνολογία που καθορίζεται από τις προδιαγραφές ZigBee είναι χαμηλή σε κατανάλωση ενέργειας, πολυπλοκότητα, ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και κόστος ανάπτυξης. Είναι η ιδανική τεχνολογία για οικιακούς αυτοματισμούς, για συστήματα έξυπνου φωτισμού καθώς και για την παρακολούθηση ενεργειακών παραγωγών και καταναλώσεων. Το ZigBee και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) έχουν χαρακτηριστεί, από το Εθνικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α. για τα πρότυπα και την τεχνολογία (NIST), ως τα πλέον κατάλληλα πρότυπα επικοινωνίας για τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα [21]. Η επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των οικιακών ευφυών συσκευών είναι πολύ σημαντική, καθώς προτιμούν συσκευές στις οποίες το πρωτόκολλο ZigBee μπορεί να ενσωματωθεί. Το ZigBee SEP παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να αντλούν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Η τεχνολογία διαθέτει δεκαέξι κανάλια στη συχνότητα των 2.4 GHz με κάθε κανάλι να καταλαμβάνει 5 MHz εύρους ζώνης. Η μέγιστη ισχύς εξόδου για τη μετάδοση των

ραδιοκυμάτων είναι πολύ μικρή 0dBm(1mW) και η ευαισθησία του δεκτή -85dBm. Η εμβέλεια της μετάδοσης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 100 m, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η ανάπτυξη, συνήθως χρησιμοποιείται η OQPSK τεχνική διαμόρφωσης και ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων κυμαίνεται στα 250 Kb/s [21]. Το ZigBee θεωρείται ως μια καλή επιλογή για μέτρηση και διαχείριση ενέργειας και ιδανική για εφαρμογές έξυπνων δικτύων λόγω της απλότητας του, τις χαμηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης.

Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στις υλοποιήσεις με την τεχνολογία ZigBee, όπως χαμηλές δυνατότητες επεξεργασίας μικρό μέγεθος μνήμης, καθώς και η δημιουργία παρεμβολών από και προς άλλες συσκευές, οι οποίες μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

#### *3.3.1.2 Ασύρματα δίκτυα πλέγματος*

Ένα Ασύρματο Δίκτυο Πλέγματος (Wireless Mesh Network - WMN) είναι ένα ευέλικτο δίκτυο επικοινωνίας αποτελούμενο από μια ομάδα κόμβων οργανωμένους σε τοπολογία πλέγματος. Κάθε κόμβος ενεργεί ως ανεξάρτητος δρομολογητής, επιπλέον, στο υπάρχον σύνολο μπορούν να ενταχθούν νέοι κόμβοι. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των δικτύων είναι ότι επιτρέπει στα σήματα επικοινωνίας να βρουν μια εναλλακτική διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων, εάν κάποιος κόμβος από την προκαθορισμένη διαδρομή είναι ανενεργός. Στη βόρεια Αμερική, τα συστήματα που βασίζονται σε πλέγματα ραδιοσυχνοτήτων είναι πολύ δημοφιλή. Στο σύστημα έξυπνων μετρητών της PG&E κάθε συσκευή είναι εξοπλισμένη με μια μονάδα ραδιοσυχνοτήτων, η οποία δρομολογεί τα δεδομένα των μετρήσεων μέσω των γειτονικών μετρητών, έτσι κάθε μετρητής ενεργεί και σαν αναμεταδότης σήματος μέχρις ότου τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί να φτάσουν στο σημείο πρόσβασης του δικτύου.

Το WMN είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση και έχει τις ιδιότητες, λόγω της αρχιτεκτονικής του, για αυτοοργάνωση, αυτοθεραπεία, αυτοδιαμόρφωση και υψηλή κλιμάκωση, οι οποίες παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, ο διαμοιρασμός του φορτίου στο δίκτυο καθώς και η

επέκταση του εύρους κάλυψής του [20]. Τόσο σε αστικές όσο και σε μη-αστικές περιοχές, μπορεί να επιτευχθεί επαρκής κάλυψη του δικτύου μέσω δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών, επίσης, η φύση του δικτύου επιτρέπει στους μετρητές να λειτουργούν και ως αναμεταδότες σήματος και αυτό επεκτείνει την κάλυψη, καθώς και την χωρητικότητα του δικτύου. Αυτού του είδους τα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές για προηγμένες μετρήσεις και για οικιακή διαχείριση ενέργειας.

Η χωρητικότητα του δικτύου, η εξασθένηση και οι παρεμβολές του σήματος μπορούν να θεωρηθούν οι μεγαλύτερες προκλήσεις για τη βελτίωση των WNM. Στις αστικές περιοχές τίθεται ζήτημα με την κάλυψη, δεδομένου ότι η πυκνότητα των μετρητών δε μπορεί να εξασφαλίσει πλήρη κάλυψη του επικοινωνιακού δικτύου. Με την προϋπόθεση να υπάρχει ισορροπία μεταξύ αξιόπιστης και ευέλικτης δρομολόγησης, και λαμβάνοντας υπόψη το κόστος ενός κόμβου, ο σχεδιασμός για τον επαρκή αριθμό των κόμβων που θα χρειαστούν είναι ζωτικής σημασίας για τα WNM. Επιπλέον, για τη διαχείριση του δικτύου απαιτείται μια ανεξάρτητη εταιρεία, κι αντίστοιχα για την ασφάλεια του δικτύου, είναι απαραίτητη η εφαρμογή κρυπτογράφησης λόγω του ότι οι πληροφορίες μέτρησης περνάνε από κάθε σημείο πρόσβασης αυξάνοντας τον κίνδυνο για κακόβουλες επιθέσεις.

### *3.3.1.3 Κυψελωτά δίκτυα*

Τα κυψελωτά δίκτυα θεωρούνται μια καλή επιλογή για την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Η λύση των κυψελωτών δικτύων μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήματα για τις εταιρείες, χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες υποδομές τηλεπικοινωνιακών δικτύων, αντί να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν μια νέα αποκλειστική υποδομή επικοινωνίας για τις ανάγκες τους. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων που είναι διαθέσιμες στους παρόχους για εφαρμογές έξυπνων μετρήσεων είναι οι 2G, 2.5G, 3G, WiMAX και LTE. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας που χρησιμοποιούν κυψελωτά δίκτυα για να υλοποιήσουν το σύστημα επικοινωνίας στο SG, η Echelon χρησιμοποιεί το Global System for Mobile Communications (GSM) της T-Mobile, επίσης οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι Telenor, Telecom Italia, China Mobile,

Vodafone ξεκίνησαν να διαθέτουν τα GSM δίκτυα τους για τη ροή δεδομένων των έξυπνων συστημάτων μέτρησης [22].

Τα κυψελωτά δίκτυα υπάρχουν ήδη, επομένως οι πάροχοι δεν επιβαρύνονται με επιπλέον κόστος για την κατασκευή της υποδομής, αυτό κάνει τα κυψελωτά δίκτυα να είναι μια από τις κορυφαίες τεχνολογίες για την υποστήριξη του επικοινωνιακού συστήματος των 5G. Επίσης, παρέχεται επαρκές εύρος ζώνης για να καλύψει το μεγάλο όγκο δεδομένων που συγκεντρώνονται. Από άποψη ασφάλειας, τα κυψελωτά δίκτυα δεν χρειάζονται κάποιο επιπλέον μηχανισμό ασφαλείας, καθώς διαθέτουν τους δικούς του ισχυρούς ελέγχους. Πλέον, η κάλυψη αγγίζει το 100% σε αστικές και αγροτικές περιοχές, επιπλέον οι ταχύτητες της πιο σύγχρονης τεχνολογίας LTE μπορεί να φτάσει τα 100 Mbit/s στο download και τα 50 Mbit/s στο upload [22]. Το χαμηλότερο κόστος, η καλύτερη κάλυψη, το μικρότερο κόστος συντήρησης και ο λιγιστός χρόνος που απαιτείται για την εγκατάσταση της υποδομής είναι ο λόγος που τα κυψελωτά δίκτυα έχουν τη μεγαλύτερη απήχηση, μεταξύ των τεχνολογιών επικοινωνίας έξυπνων δικτύων.

Από την άλλη, στο ενεργειακό δίκτυο υπάρχουν εφαρμογές καίριας σημασίας, οι οποίες απαιτούν συνεχή διαθεσιμότητα του δικτύου επικοινωνιών. Ωστόσο, τα κυψελωτά δίκτυα δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από του παρόχους, αλλά παράλληλα και από την αγορά των καταναλωτών κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη συμφόρηση του δικτύου ή τη μείωση της απόδοσης του σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ένας άλλος παράγοντας που ενδέχεται να επηρεάσει την απόδοση του δικτύου είναι οι καιρικές συνθήκες, σε μη φυσιολογικές καταστάσεις, όπως έντονης βροχόπτωσης ή ανεμοθύελλας οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι δε μπορούν να εγγυηθούν για την ποιότητα των υπηρεσιών τους. Ως εκ τούτου, αυτές οι εκτιμήσεις μπορούν να οδηγήσουν τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να δημιουργήσουν το δικό τους ιδιωτικό κυψελωτό δίκτυο επικοινωνιών, κάτι βέβαια που θα τις επιβαρύνει οικονομικά. Σε σύγκριση με τα δημόσια δίκτυα, τα ιδιωτικά δίκτυα ενδέχεται να αντιμετωπίσουν καλύτερα τις καταστάσεις αστάθειας λόγω της χρήσης ποικίλων τεχνολογιών και των ζωνών του φάσματος που διαθέτουν, επιπλέον δεν θα αντιμετωπίζουν καταστάσεις συμφόρησης.

### 3.3.1.4 Power-line Communication (PLC)

Η τεχνολογία PLC χρησιμοποιεί την υφιστάμενη υποδομή ηλεκτρικού ρεύματος για τη μετάδοση σημάτων δεδομένων υψηλής ταχύτητας (2-3 Mb/s) μεταξύ των συσκευών για επικοινωνιακό σκοπό. Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες της τεχνολογίας PLC, οι οποίες λειτουργούν σε διαφορετικό εύρος ζώνης και έχουν διαφορετικές δυνατότητες. Πιο συγκεκριμένα, τεχνολογία υπέρ-στενής ζώνης Ultra Narrow Band (UNB), η οποία λειτουργεί με πολύ χαμηλό ρυθμό δεδομένων (~100bps) και υπέρ-χαμηλή συχνότητα (0,3-300 Hz) [23]. Επιπλέον, υπάρχει και αυτή των ευρυζωνικών Broadband (BB), όπου λειτουργεί στις συχνότητες HV/VHF (1,8-250 MHz) με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (~200Mbps) και τέλος, της στενής ζώνης Narrowband (NB) που λειτουργεί σε συχνότητες VLF/LF/MF (3-500 KHz) και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (1-100 Kbps)

Type of Power Line Communication	Data Rate	Grid Segment	Modulation Frequency	Vendor Examples
Low Speed PLC	10-100 bps	MV and LV Segment	50 to 60Hz	Aclara PLC (TWAS)
Narrow band PLC	1-100 Kbps	Mostly LV Only	CENELEC A Band	Echelon, PRIME,G3-PLC.
Broadband over Power Line(BPL)	1-2 Mbps	Mostly LV only	OFDM at Higher bands	Current Group Ambient Corp

Εικόνα 11: Συνοπτικός πίνακας τεχνολογιών PLC [23]

Η τεχνολογία PLC θεωρείται μια υποσχόμενη τεχνολογία για εφαρμογές έξυπνων δικτύων, λόγω του ότι δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί επιπλέον υποδομή για το επικοινωνιακό δίκτυο. Η χρήση της ενιαίας υποδομής για την παράλληλη μετάδοση ισχύος και δεδομένων αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, κάτι που καθιστά τα PLC συστήματα μια οικονομικά αποδοτική και εύκολα υλοποιήσιμη λύση για τις ανάγκες επικοινωνίας των SG. Το έργο για προτυποποίηση στα PLC συστήματα, το χαμηλό κόστος ανάπτυξης και η ευρέως διαθέσιμη υποδομή είναι οι λόγοι που καθιστούν την PLC τεχνολογία δημοφιλή. Επιπλέον, η τεχνολογία PLC είναι κατάλληλη για εφαρμογές έξυπνων δικτύων σε αστικές περιοχές, όπως εφαρμογές με έξυπνους μετρητές, παρακολούθησης και

ελέγχου, δεδομένου ότι η περιοχή εξυπηρετείται ήδη από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας.

Λόγω της φύσης των PLC δικτύων, δημιουργούνται ορισμένες τεχνικές προκλήσεις. Οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς, οι οποίες είναι ένα μέσο μετάδοσης που δεν ήταν αρχικά σχεδιασμένο για τη μεταφορά δεδομένων, αποτελεί ένα δύσκολο και θορυβώδες περιβάλλον και καθιστά τη μοντελοποίηση του καναλιού δύσκολη. Το διαθέσιμο χαμηλό εύρος ζώνης 20 Kb/s για δίκτυα NAN, περιορίζει την τεχνολογία PLC για εφαρμογές που απαιτείται μεγαλύτερο από αυτό. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του σήματος, πιο συγκεκριμένα, η τοπολογία του δικτύου, ο αριθμός και τύπος των συνδεδεμένων συσκευών στις ηλεκτρικές γραμμές, όπως και η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Συνεπώς, τα PLC συστήματα θεωρούνται ευαίσθητα στις διαταραχές και εξαρτώνται από την ποιότητα του σήματος, κάτι που τα καθιστά ακατάλληλα για τη μετάδοση δεδομένων. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες υβριδικές λύσεις, στις οποίες η τεχνολογία PLC συνδυάζεται με άλλες τεχνολογίες για την παροχή πλήρους συνδεσιμότητας.

Τα υπάρχοντα δίκτυα WAN των παρόχων βασίζονται σε ένα υβριδικό σύστημα τεχνολογιών επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων ενσύρματων τεχνολογιών, όπως PLC και ποικίλων ασύρματων τεχνολογιών, για παράδειγμα επικοινωνιών δεδομένων σε κυψελωτά δίκτυα GSM/GPRS/WiMax/WLAN. Έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν εφαρμογές επιτήρησης και ελέγχου, τα πιο ενδεικτικά είναι τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS), Συστήματα Διαχείρισης Διανομής (DMS) [24].

#### *3.3.1.5 Digital Subscriber Lines*

Οι ψηφιακές γραμμές συνδρομητών (DSL) είναι μια τεχνολογία ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων υψηλής ταχύτητας που χρησιμοποιεί τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου. Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των γραμμών DSL μειώνει το κόστος εγκατάστασης με αποτέλεσμα πολλές εταιρείες κοινής ωφέλειας να επιλέγουν αυτή την τεχνολογία για τα SG. Οι συνδέσεις DSL είναι ειδικά κυκλώματα σημείο προς σημείο, τα οποία είναι πάντα συνδεδεμένα και δεν χρειάζονται dial-up.

Η τηλεφωνική γραμμή χρησιμοποιείται για τη μετάδοση τόσο της φωνής όσο και των πακέτων δεδομένων, διατηρώντας τα ξεχωριστά. Ένα μόντεμ DSL συνδέει τον υπολογιστή στην τηλεφωνική γραμμή από την πλευρά του συνδρομητή. Ένας πολυπλέκτης πρόσβασης DSL από την πλευρά του παρόχου υπηρεσιών, παίρνει τα αιτήματα των χρηστών και τα στέλνει μέσω μιας ενιαίας σύνδεσης στο διαδίκτυο. Όπως αναφέρεται στο [19], υπάρχουν διάφοροι τύποι υπηρεσιών DSL που κυμαίνονται σε ταχύτητες από 16 kbps έως 52 Mbps.

Η άμεση και ευρεία διαθεσιμότητα της τεχνολογίας, το χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, καθώς και το υψηλό εύρος ζώνης για τη μετάδοση δεδομένων είναι οι σημαντικότεροι λόγοι που η τεχνολογία DSL θεωρείται από του παρόχους η καταλληλότερη για το σύστημα επικοινωνία των SG.

Η αξιοπιστία και ο ενδεχόμενος χρόνος εκτός λειτουργίας της DSL τεχνολογίας ενδέχεται να μην είναι αποδεκτός για εφαρμογές κρίσιμης σημασίας. Επίσης, η εξάρτηση της ποιότητας της σύνδεσης από την απόσταση καθώς και έλλειψη τυποποίησης μπορεί να προκαλέσουν πρόσθετα προβλήματα. Σε αγροτικές περιοχές και σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα, στις οποίες δεν είναι διαθέσιμη η DSL τεχνολογία, είναι εξαιρετικά δαπανηρή η δημιουργία, καθώς και η συντήρηση υποδομής.

### 3.3.2 Απαιτήσεις Επικοινωνίας

Ένα σύστημα διανομής ενέργειας (Power Grid) μπορεί να μετατραπεί σε ένα Έξυπνο Δίκτυο χάρη σε τρία βασικά θεμέλια: την παρακολούθηση (monitoring), την επικοινωνία και τον έλεγχο. Με την παρακολούθηση, δεδομένου ότι σε ένα έξυπνο δίκτυο, ένα σημείο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει και σημείο παραγωγής, η διαδικασία της παρακολούθησης συνδέεται στενά με τη διαδικασία της μέτρησης. Έπειτα, η επικοινωνία θα επιτρέπει στις εισόδους από τους αισθητήρες να μεταβιβάζονται στα στοιχεία ελέγχου του έξυπνου δικτύου, τα οποία θα δημιουργούν μηνύματα ελέγχου για τη μετάδοση σε διάφορα σημεία του έξυπνου δικτύου, οδηγώντας σε κατάλληλες ενέργειες. Η εκάστοτε υποδομή επικοινωνίας πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να δέχεται δεδομένα από ένα χρήστη και να το κάνει αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας. Ομοίως, ο χρήστης πρέπει να είναι σε θέση να αποκτήσει τις κατάλληλες πληροφορίες από το έξυπνο δίκτυο. Στη συνέχεια



του κεφαλαίου, αναπτύσσονται οι σημαντικές απαιτήσεις για υποδομές επικοινωνιών έξυπνου δικτύου:

I. Απαιτήσεις σχετικές με την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS): Για να υλοποιηθεί μια πρακτική υποδομή επικοινωνιών έξυπνου δικτύου, είναι απαραίτητο να έχουμε εγγυημένη QoS για την τεχνολογία επικοινωνίας και δικτύωσης, η οποία χρησιμοποιείται στο έξυπνο δίκτυο, ξεκινώντας από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη μετάδοση, τη διανομή έως και τις εφαρμογές των πελατών. Πιο συγκεκριμένα], για να διασφαλιστεί η QoS σε όλα τα παραπάνω στάδια του έξυπνου δικτύου και να μη τεθεί σε κίνδυνο η σταθερότητα, απαιτείται η επικοινωνία του προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας με τους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας [12].

A. Καθυστέρηση Μεταφοράς (Latency): Για να υπάρχει αξιόπιστη λειτουργία, πρέπει να μην υπάρχει καθυστέρηση της μεταφοράς των δεδομένων που στέλνουν μεταξύ τους οι έξυπνες συσκευές ενός δικτύου. Οι απαιτήσεις επικοινωνίας καθορίζουν το σχεδιασμό των τεχνικών λύσεων, όπως στην περίπτωση που ο σκοπός αφορά ανίχνευση/μέτρηση σε πραγματικό χρόνο, τα μηνύματα ανάγνωσης πρέπει να μεταδίδονται μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

B. Εύρος ζώνης: Η επικοινωνιακή υποδομή πρέπει να μπορεί να μεταφέρει ταυτόχρονα όλο και περισσότερα μηνύματα χωρίς μεγάλη καθυστέρηση, καθώς με την εξέλιξη του έξυπνου δικτύου, όλο ένα και περισσότερα διασυνδεδεμένα ευφυή στοιχεία προστίθενται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το εύρος ζώνης δικτύου πρέπει να αυξάνεται ταχύτερα από τη ζήτηση των εκάστοτε διασυνδεδεμένων ευφυών στοιχείων στο δίκτυο.

II. Διαλειτουργικότητα (Interoperability): Η απαίτηση της διαλειτουργικότητας ενός έξυπνου δικτύου είναι η ικανότητα διαφορετικών συστημάτων να συνεργάζονται, να χρησιμοποιούν τα συμβατά εξαρτήματα, να ανταλλάσσουν πληροφορίες ή εξοπλισμό μεταξύ τους και να συνεργάζονται για την αποδοτική εκτέλεση των εργασιών.

III. Επεκτασιμότητα (Scalability): Κάθε υποδομή επικοινωνίας έξυπνου δικτύου χρειάζεται επεκτασιμότητα για να μπορεί να δέχεται περισσότερες συσκευές και υπηρεσίες, καθώς και για να επιτύχει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση του τελικού χρήστη σε πραγματικό χρόνο παρακολούθησης των μετρητών ενέργειας.

IV. Ασφάλεια (Security): Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ερευνών Ηλεκτρικής Ισχύος (Electric Power Research Institute - EPRI), μία από τις επικείμενες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη έξυπνου δικτύου σχετίζεται με την ασφάλεια των συστημάτων. Όπως αναφέρεται στην έκθεση EPRI, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι ένα κρίσιμο ζήτημα λόγω της αυξανόμενης δυνατότητας επιθέσεων και περιστατικών στον κυβερνοχώρο ενάντια σε αυτόν τον κρίσιμο τομέα, καθώς γίνεται ολοένα και περισσότερο διασυνδεδεμένος. Η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο πρέπει να αντιμετωπίσει όχι μόνο ηθελημένες επιθέσεις, όπως από δυσαρεστημένους εργαζόμενους, βιομηχανική κατασκοπεία και τρομοκράτες, αλλά και ακούσιους συμβιβασμούς της πληροφοριακής υποδομής λόγω σφαλμάτων χρήστη, εξοπλισμού, ατυχιών και φυσικών καταστροφών. Οι αδυναμίες ενδέχεται να επιτρέψουν σε έναν εισβολέα να διεισδύσει σε ένα δίκτυο, να αποκτήσει πρόσβαση στο λογισμικό ελέγχου και να μεταβάλει τις συνθήκες φόρτωσης για να αποσταθεροποιήσει το δίκτυο με απρόβλεπτες μεθόδους. Περισσότερες λεπτομέρειες αναπτύσσονται στο Κεφάλαιο 5 με τα θέματα ασφάλειας.

V. Τυποποίηση (Standardization): Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει διάφορα πρότυπα σε πολλούς τομείς, εκτός από τις επικοινωνίες, όπως η παραγωγή ενέργειας, η παράδοση και ο έλεγχος. Το IEEE έχει αναλάβει την πρωτοβουλία να καθορίσει αυτά τα πρότυπα και να γράψει κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του έξυπνου δικτύου, χρησιμοποιώντας την τελευταία τεχνολογία στον τομέα της ενέργειας, του ελέγχου, των επικοινωνιών και της τεχνολογίας των πληροφοριών. Η ομάδα προτύπων που δημιουργήθηκε είναι γνωστή ως IEEE Ομάδα P2030 [24].

Η εφαρμογή των προτύπων αποτελεί μείζον ζήτημα στη μετάβαση προς την προηγμένη ανίχνευση/αυτοματισμό και αποτελεί επίσης κρίσιμο βήμα στη δημιουργία υποδομών επικοινωνιών έξυπνου δικτύου. Δεδομένου ότι τα συστήματα επικοινωνίας στο έξυπνο δίκτυο είναι συνήθως από διαφορετικούς πωλητές με δικές

τους κληρονομίες, οι οποίες είναι αποκλειστικές και δεν έχουν διπλή διαλειτουργικότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

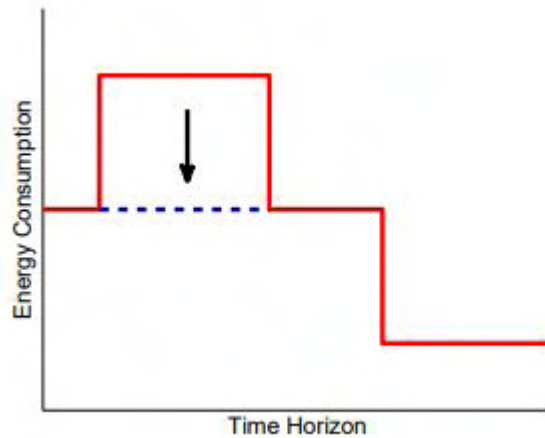
Το SG θεωρείται ένα ηλεκτρικό δίκτυο ικανό να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια, με έναν έξυπνο και ελεγχόμενο τρόπο, από τα σημεία παραγωγής στους καταναλωτές, οι οποίοι θεωρούνται σημαντικό μέρος του έξυπνου δικτύου, από τη στιγμή που μπορούν να τροποποιήσουν τα αγοραστικά τους πρότυπα και τη συμπεριφορά του ανάλογα με τις ληφθείσες πληροφορίες τα κίνητρα και τα αντικίνητρα. Τα περισσότερα από τα πλεονεκτήματα του SG οφείλονται στην ικανότητά του να βελτιώνει την απόδοση αξιοπιστίας και την ανταπόκριση των πελατών και να ενθαρρύνει τις αποφάσεις μεγαλύτερης αποδοτικότητας από τους πελάτες και τον πάροχο υπηρεσιών. Επομένως, η διαχείριση της πλευράς ζήτησης (Demand Side Management - DSM), όπου συμπεριλαμβάνει οτιδήποτε αφορά την πλευρά της ζήτησης, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του SG.

#### 4.1 Απόκριση Ζήτησης – Demand Response (DR)

Από τη σκοπιά του SG, η έννοια της απόκρισης ζήτησης (DR) είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να επαναπροσδιοριστούν οι ενεργειακές καταναλώσεις των καταναλωτών, με σκοπό να μειωθούν τα λειτουργικά κόστη, όπως αυτά από της ακριβές παραγωγές ενέργειας, καθώς και να καθυστερήσει μακροπρόθεσμα η περαιτέρω ανάπτυξη μονάδων παραγωγής. Αυτή η στρατηγική θα καταστήσει το υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πιο αξιόπιστο, θα ενισχύσει τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και θα οδηγήσει σε αμοιβαία οικονομικά οφέλη τόσο για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας, όσο και για τους καταναλωτές. Επιπλέον, θα μειωθούν οι εκπομπές ρύπων και θα περιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις με την αύξηση της αποτελεσματικότητας της χωρητικότητας του δικτύου. Οι τρεις τεχνικές της απόκρισης ζήτησης, όπως φαίνονται στις Εικόνες 12-14, είναι οι ακόλουθες [25] :

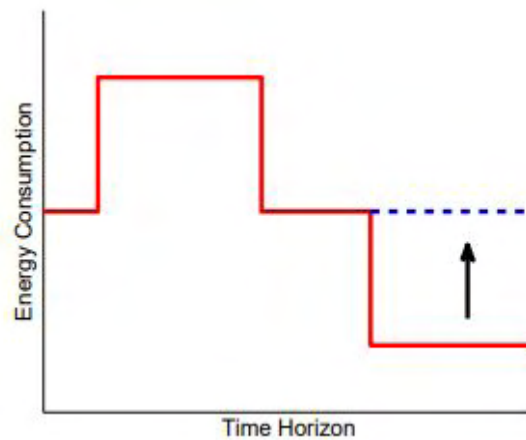
1) Peak clipping: Έχει ως σκοπό να μειωθεί η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας, προκειμένου να αποφευχθεί το φορτίο να υπερβεί την παροχή ισχύος των υποσταθμών διανομής ή το θερμικό όριο των μετασχηματιστών και τροφοδοτικών.

Οι χρήστες θα έχουν την ικανοποίηση / ικανοποίησή τους από την στιγμή που οι κορυφαίες αποκοπές μειώνουν μέρος της ζήτησης.



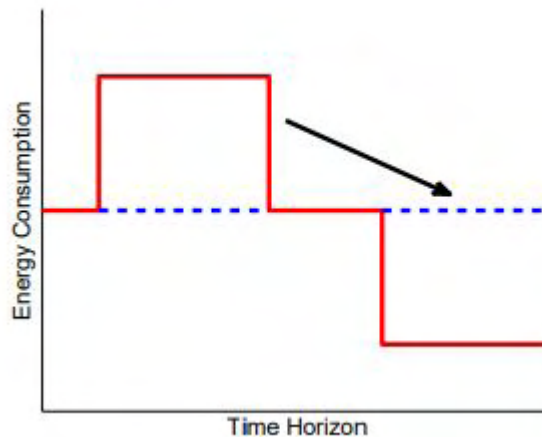
Εικόνα 12: Απεικόνιση Peak clipping [25]

2) Valley filling: Είναι η αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί μέσω συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs).



Εικόνα 13: Απεικόνιση Valley Filling [25]

3) Μετατόπιση φορτίου - Load shifting: Αφορά τη διαδικασία της μετατόπισης των ενεργειακών καταναλώσεων στον χρονικό άξονα, για παράδειγμα το να μετατοπιστεί η ζήτηση από τις περιόδους αιχμής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, δηλαδή ο συνδυασμός των Peak clipping και Valley filling, χωρίς να μειωθεί η συνολική κατανάλωση των χρηστών κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.



Εικόνα 14: Απεικόνιση Load Shifting [25]

Τα προγράμματα DR μπορούν να θεωρηθούν ως τα “μέσα” ή το “αντίτιμο” που χρησιμοποιούν οι εταιρείες κοινής ωφέλειας για να παροτρύνουν τους καταναλωτές να επανασχεδιάσουν τα πρότυπα κατανάλωσής τους. Με άλλα λόγια, τα προγράμματα αυτά είναι σε θέση να δημιουργούν το καταναλωτικό προφίλ των χρηστών με σκοπό να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Προκειμένου να παρακινηθούν οι καταναλωτές στο να συμμετέχουν στα προγράμματα απόκρισης της ζήτησης, θα πρέπει να μπορούν να κατανοήσουν τα οφέλη που θα αποκομίσουν από τη συμμετοχή τους σε αυτά, καθώς και να μπορέσουν να βελτιώσουν τις ικανότητές τους στο να χρησιμοποιούν τεχνολογίες ελέγχου, όπως έξυπνους θερμοστάτες και τεχνολογίες για ενεργειακή πληροφορία. Οι κύριοι λόγοι για την ενθάρρυνση των καταναλωτών να συμμετέχουν σε προγράμματα DR είναι μεταξύ άλλων, οικονομικοί για την εξοικονόμηση χρημάτων όπως και αίσθηση προσωπικής ευθύνης για την αποφυγή διακοπών ρεύματος. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν σημαντικές ανησυχίες και αβεβαιότητες από τους καταναλωτές για την συμμετοχή τους σε DR προγράμματα. Αυτές οφείλονται κυρίως στην αβεβαιότητα των προγραμμάτων απόκρισης τιμών, τη μη προσδιορισμένη ποσότητα ενέργειας που θα είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος DR, και τη βιωσιμότητα των συμμετεχόντων από οικονομική άποψη. Ωστόσο, οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να αντιμετωπίσουν τις περισσότερες από αυτές τις ανησυχίες σχεδιάζοντας έξυπνα προγράμματα, παρέχοντας οργανωμένη υποστήριξη και επιτρέποντας στους καταναλωτές να συμμετέχουν σε περισσότερα από ένα προγράμματα, δίνοντας τη δυνατότητα έτσι να καλυφθούν οι

ανάγκες του καθενός ξεχωριστά. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας θα πρέπει να προσφέρουν ένα ολοκληρωμένο σύνολο συντονισμένων υπηρεσιών που θα ενθαρρύνει τους πελάτες να συμμετέχουν στα προγράμματα DR [26]. Τα DR προγράμματα χωρίζονται κυρίως στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

#### 4.1.1 Προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα

Αυτή η κατηγορία προγραμμάτων DR επιβραβεύει τους καταναλωτές για τη μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων τους κατόπιν αιτήματος ή για να δοθεί ένα μέρος του ελέγχου του ηλεκτρικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούν οι καταναλωτές, στο διαχειριστή του προγράμματος. Ο πάροχος των υπηρεσιών DR ή ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας, στέλνει στους συμμετέχοντες στο εκάστοτε πρόγραμμα ένα σύνολο σημάτων για τη μείωση της ζήτησης, με τη μορφή εθελοντικών αιτημάτων ή υποχρεωτικών εντολών. Αυτά τα προγράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν “απάντηση” σε διάφορες καταστάσεις, όπως συμφόρηση του τοπικού ή περιφερειακού δικτύου, υπερθέρμανση του συστήματος ή για την οικονομία του συστήματος. Τα προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα λειτουργούν με ανώτατα όρια, τόσο για τη διάρκεια των μεμονωμένων συμβάντων όσο και για το συνολικό αριθμό ωρών κατά τη διάρκεια ενός έτους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, θεωρείται ότι αυτά τα προγράμματα δεν χρησιμοποιούνται περισσότερο από 40-100 ώρες τον χρόνο [26]. Αυτά τα όρια οφείλονται κυρίως τόσο στους περιορισμούς της διαθεσιμότητας του πελάτη όσο και στις τρέχουσες τεχνολογίες DR.

Τα κύρια προγράμματα παρατίθενται ως εξής:

Άμεσος έλεγχος φορτίου - Direct load control (DLC): Η εταιρεία κοινής ωφέλειας έχει τη δυνατότητα για απομακρυσμένο έλεγχο ορισμένων ηλεκτρικών συσκευών (π.χ. κλιματιστικά, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες) ή γενικότερα ηλεκτρικών φορτίων των χρηστών, έτσι ώστε να σταματήσει τη λειτουργία τους, όποτε κάτι τέτοιο κριθεί απαραίτητο. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε τέτοια προγράμματα λαμβάνουν οικονομικές ανταμοιβές, συνήθως μέσω έκπτωσης στους λογαριασμούς τους. Η βασική ιδέα είναι να μειωθεί το φορτίο σε ώρες αιχμής. Το DLC έχει προσφερθεί εδώ και δεκαετίες σε οικιακούς και μικρούς εμπορικούς χρήστες, στη Βόρεια Καρολίνα, ΗΠΑ [27].

Διακοπτόμενο/περιορίσιμο φορτίο - Interruptible/curtailable (I/C) load: Ένα πρόγραμμα I/C εξετάζει επιλογές περικοπής όπως, να περικόψει κάποιο μέρος ενός ηλεκτρικού φορτίου ή να περιορίσει τη συνολική κατανάλωση σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης του συστήματος, αν οι καταναλωτές συμφωνήσουν να μειώσουν το φορτίο, τους παρέχεται έκπτωση στην τιμή ή πίστωση στον λογαριασμό. Οι πελάτες θα πρέπει να απαντήσουν μέσα σε 30 με 60 λεπτά από τη στιγμή που θα ειδοποιηθούν από την εταιρεία κοινής ωφέλειας, σε περίπτωση που δεν θα ανταποκριθούν σε αυτές τις επιλογές, θα λάβουν κάποιες ποινές σύμφωνα με τους όρους του προγράμματος. Αυτά τα προγράμματα παραδοσιακά προσφέρονται σε πελάτες με μεγάλη κατανάλωση ρεύματος που κυμαίνεται από 200 KW μέχρι 3 MW. Ο συνολικός χρόνος που μπορεί να ζητηθεί από τους πελάτες να διακόψουν την κατανάλωση είναι συγκεκριμένος και προσυμφωνημένος, δηλαδή όχι περισσότερο από 200 ώρες το χρόνο [28].

Προγράμματα έκτακτης ανάγκης - Emergency DR Programs (EDRP): Τα προγράμματα έκτακτης ανάγκης είναι ένα είδος προγραμμάτων που βασίζονται στην αγορά, μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως συνδυασμός των προγραμμάτων DLC και I/C. Οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να μην περιορίσουν την κατανάλωση, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να παραιτηθούν από τις προκαθορισμένες πληρωμές.

Προγράμματα αγοράς ισχύος - Capacity market programs (CMP): Είναι και αυτά προγράμματα που βασίζονται στην αγορά, προσφέρονται σε καταναλωτές που είναι ικανοί να προβούν σε προκαθορισμένες μειώσεις φορτίου για την αντικατάσταση συμβατικών παραγωγών. Οι πελάτες που συμμετέχουν σε προγράμματα αγοράς ισχύος, συνήθως ενημερώνεται μια μέρα πιο νωρίς, ενώ αν δεν προχωρήσουν στην μείωση της κατανάλωσης τους επιβάλλεται χρηματική ποινή. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες είναι υποχρεωμένοι να επιδεικνύουν ότι είναι εφικτή μια ελάχιστη περικοπή φορτίου, ενώ λαμβάνουν πάγια ένα ποσό ακόμα και αν δεν χρειαστεί να περιορίσουν την κατανάλωση.



Προγράμματα προσφορών ζήτησης - Demand bidding (DB): Τα προγράμματα προσφορών ζήτησης συνήθως προσφέρονται σε μεγάλους καταναλωτές (1 MW ή περισσότερο), οι οποίοι συμμετέχουν στην χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, κάνοντας προσφορές περικοπής για συγκεκριμένο ποσό ενέργειας σε συγκεκριμένη τιμή. Μια τέτοια προσφορά γίνεται αποδεκτή εάν η τιμή της είναι χαμηλότερη από αυτήν που ισχύει στην αγορά, έπειτα ο καταναλωτής θα πρέπει να περιορίσει το φορτίο του σύμφωνα με την προσφορά, διαφορετικά θα πρέπει να πληρώσει κάποια ποινή. Οι μικρότεροι καταναλωτές μπορούν να συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα μέσω τρίτων, οι οποίοι συγκεντρώνουν προτάσεις μικρότερων χρηστών.

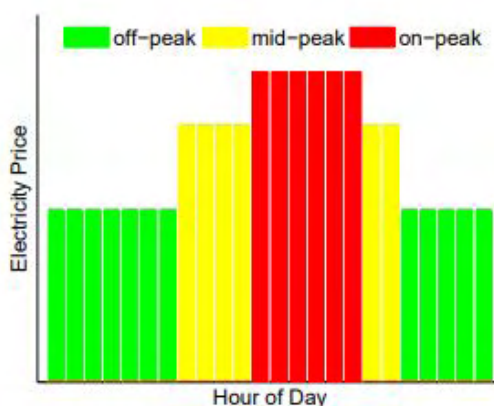
#### 4.1.2 Προγράμματα βασισμένα σε τιμές

Τα προγράμματα αυτά προσφέρουν στους πελάτες διαφορετικές τιμές οι οποίες καθορίζονται με βάση το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι καταναλωτές λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις τρέχουσες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν την ευχέρεια να περιορίσουν την κατανάλωσή τους σε περιόδους που οι τιμές είναι υψηλές ή το αντίθετο. Υπάρχουν πολλά συστήματα τιμολόγησης, τα οποία βασίζονται είτε στην λιανική πώληση είτε σε προγράμματα DR. Στην πρώτη περίπτωση, σταθερές τιμές ή ανάλογες με την κατανάλωση τους, προσφέρονται στους καταναλωτές προκειμένου να περιορίσουν την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, οι καταναλωτές δε συμμετέχουν στη διαμόρφωση των τιμών, επιπλέον δεν τους προσφέρονται οικονομικά κίνητρα για να ανταποκριθούν στις ωριαίες αλλαγές των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση των προγραμμάτων με βάση το DR, οι πελάτες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, με το να ανταποκρίνονται στα σήματα κινήτρων, τα οποία αποστέλλονται από τους παρόχους ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαφορετικά συστήματα τιμολόγησης, αρχικά τα προγράμματα τιμολόγησης λιανικής και, στη συνέχεια, τα προγράμματα που βασίζονται σε DR.

Σταθερή τιμολόγηση - Flat pricing: Η σταθερή τιμολόγηση είναι το σύστημα τιμολόγησης που χρησιμοποιείται παραδοσιακά στα περισσότερα ενεργειακά συστήματα. Σύμφωνα με αυτό, ο μόνος τρόπος να μειωθούν οι λογαριασμοί

ηλεκτρικού ρεύματος των καταναλωτών είναι η μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εφαρμόζεται εποχιακή τιμολόγηση, όπου οι τιμές είναι καθορισμένες κατά την διάρκεια μιας σεζόν, αλλά μπορούν να αλλάξουν από μια σεζόν στην άλλη.

Τιμολόγηση σύμφωνα με την ώρα χρήσης - Time-of-Use (ToU) pricing: Η τιμολόγηση σύμφωνα με την ώρα χρήσης, είναι η εφαρμογή της σταθερής τιμολόγησης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Σύμφωνα με σχέδιο τιμολόγησης ToU, οι τιμές διατηρούνται σταθερές μέσα στα επιμέρους διαστήματα, τα οποία μπορεί να είναι κάποιες ώρες κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ή κάποιες ημέρες κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, τυπικά κάθε περίοδος είναι μεγαλύτερη από μία ώρα [26], ενώ μεταβάλλονται μεταξύ των διαστημάτων. Για παράδειγμα, στην Καλιφόρνια, στις ΗΠΑ, στους μεγάλους καταναλωτές προσφέρεται τιμολόγηση ToU, όπου κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχουν τρεις περίοδοι με διαφορετικές τιμές για την κατανάλωση ενέργειας. Αυτές είναι, εκτός ωρών αιχμής, μέσης ζήτησης, και εντός ωρών αιχμής. Το κόστος διαμορφώνεται στα \$0.05/KWh, \$0.078/KWh, \$0.099/KWh αντιστοίχως [28].



Εικόνα 15: Απεικόνιση ToU [25]

Κρίσιμη μέγιστη τιμολόγηση - Critical Peak Pricing (CPP): Η κρίσιμη μέγιστη τιμή έχει ομοιότητες με την τιμολόγηση ToU, σχετικά με τις σταθερές τιμές σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ωστόσο, στην CPP υπάρχει τουλάχιστον μια περίοδος στην οποία η τιμή μπορεί να μεταβληθεί, αυτό συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις σε καταστάσεις όπου η αξιοπιστία του δικτύου τίθεται σε κίνδυνο. Σε αυτές τις περιόδους οι συμμετέχοντες καταναλωτές ειδοποιούνται για

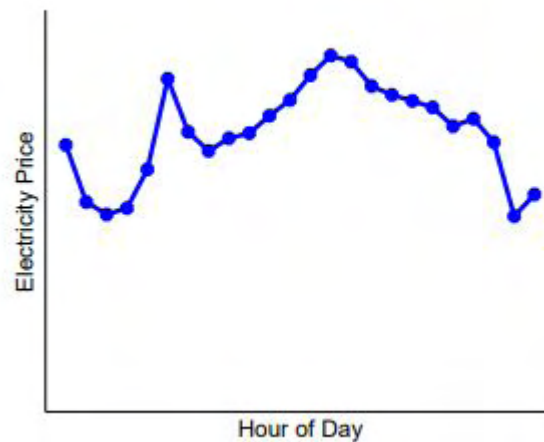
την αύξηση της τιμής συνήθως από την προηγούμενη ημέρα. Το CPP, όπως και το ToU είναι προγράμματα που δεν έχουν οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές λόγω των προκαθορισμένων τιμών. Επιπλέον, ο λόγος της τιμής εντός ωρών αιχμής προς την τιμή εκτός ωρών αιχμής, είναι υψηλότερος στο CPP σε σύγκριση με ένα πρόγραμμα ToU [28]. Αντιθέτως, από την σκοπιά των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να επιτευχθούν σημαντικές μειώσεις στις καταναλώσεις κατά τη διάρκεια κρίσιμων καταστάσεων χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα τιμολόγησης.

Τιμολόγηση μέγιστου φορτίου - Peak Load Pricing (PLP): Στην τιμολόγηση μέγιστου φορτίου η μέρα χωρίζεται σε έναν αριθμό περιόδων όπου σε κάθε περίοδο ισχύουν διαφορετικές τιμές. Αυτές οι τιμές ανακοινώνονται στους πελάτες πριν από κάθε μέρα. Ο υπολογισμός της τιμής για κάθε χρονική περίοδο, βασίζεται στον μέσο όρο των καταναλώσεων ισχύος εκείνης της χρονικής περιόδου, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το όφελος για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, υπάρχει ο στόχος της μετατόπισης της ζήτησης από τις περιόδους μέγιστης ζήτησης, αυτό αναμένεται να συμβεί λόγω της αντίδρασης των πελατών στις υψηλές τιμές εκείνης της περιόδου. Η προσαρμοστική τιμολόγηση είναι μια παρεμφερής μέθοδος με την PLP, όπου ο πάροχος ενέργειας υπολογίζει τις τιμές σε πραγματικό χρόνο, με βάση τις καταναλώσεις ισχύος σε προηγούμενες χρονικές περιόδους, και τις ανακοινώνει στους καταναλωτές στην αρχή κάθε χρονικής περιόδου.

Peak Day Rebates (PDR): Στην τιμολόγηση PDR, οι καταναλωτές έχουν ένα βασικό τιμολόγιο, έχουν όμως την δυνατότητα να επιλέξουν για το αν θα ανταποκριθούν σε ένα κρίσιμο γεγονός ώστε να λάβουν κάποια έκπτωση για ενδεχόμενη μείωση του φορτίου κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Έρευνα έχει δείξει [28], ότι η τιμολόγηση PDR είναι πιο επωφελής, σε σύγκριση με την ToU, τόσο στην μείωση την κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην ικανοποίηση των καταναλωτών

Τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο - Real-Time Pricing (RTP): Κύρια προϋπόθεση για την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο είναι η μέγιστη συμμετοχή των πελατών στο πρόγραμμα. Στο σύστημα RTP υπάρχει συνεχόμενη μεταβολή των τιμών, οι οποίες καθορίζονται και ανακοινώνονται στους πελάτες λίγο πριν από την έναρξη κάθε χρονικής περιόδου [28]. Επομένως, η επιτυχημένη υλοποίηση ενός

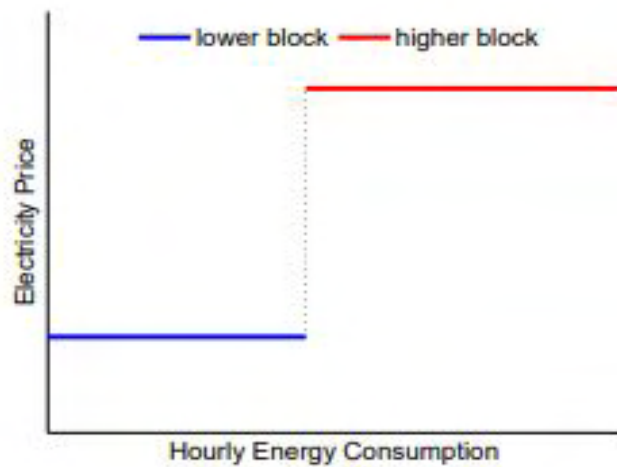
συστήματος RTP εξαρτάται από την καλή λειτουργία του συστήματος επικοινωνιών του έξυπνου δικτύου, όπου μαζί με τον ελεγκτή διαχείρισης ενέργειας (energy management controller - EMC), ο οποίος εγκαθίσταται στον χώρο του πελάτη, αυξάνουν σημαντικά την ταχύτητα λήψης αποφάσεων. Έτσι, οι καταναλωτές μπορούν να διαχειρίζονται με έναν έξυπνο τρόπο την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρο το κτίριο, το οποίο θα τους αποφέρει μειώσεις στον λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας. Από τη μεριά τους οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργεια πρέπει να καθορίζουν τις τιμές για την ερχόμενη περίοδο. Η συνολική κατανάλωση και η απόκριση των πελατών στις τιμές των προηγούμενων περιόδων καθώς και κάποια τυχαία γεγονότα, μπορούν να επηρεάσουν στην διαμόρφωση αυτών των τιμών. Τα συστήματα τιμολόγησης RTP έχουν ήδη εφαρμοστεί σε μεγάλους βιομηχανικούς και εμπορικούς πελάτες, ενώ στον οικιακό τομέα δε θεωρούνται επιτυχημένα. Οι περισσότεροι καταναλωτές αντιμετωπίζουν αρνητικά το ρίσκο που εμπεριέχεται στη συγκεκριμένη τιμολόγηση και θεωρούν την αναγκαιότητα για να λαμβάνουν συνεχώς αποφάσεις σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σημαντικό μειονέκτημα.



Εικόνα 16: Απεικόνιση RTP [25]

Inclining block rate (IBR): Αυτή η τιμολόγηση διαθέτει δύο επίπεδα χρέωσης, το χαμηλό και το υψηλό μπλοκ. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα αλλάξει κλίμακα και κατά συνέπεια θα αυξηθεί αν η ωριαία/ημερήσια/μηνιαία κατανάλωση των χρηστών ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, συνεπώς όσο υψηλότερη είναι η κατανάλωση τόσο αυξάνεται η τιμή ανά kWh. Ο σχεδιασμός του IBR οδηγεί τους καταναλωτές να διανέμουν τα φορτία τους σε διαφορετικές ώρες της ημέρας για να αποφύγουν την χρέωση με βάση το υψηλό μπλοκ τιμών, συμβάλλοντας έτσι στην μείωση της

κατανάλωσης στις ώρες αιχμής. Αυτό το σύστημα τιμολόγησης χρησιμοποιείται ευρέως από πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας από τη δεκαετία του '80.



Εικόνα 17: Απεικόνιση IBR [25]

#### 4.2 Πιθανά οφέλη της Απόκρισης Ζήτησης στα Έξυπνα Δίκτυα

Ανάλογα με το στόχο, το σχεδιασμό και τις επιδόσεις, καθώς και άλλους παράγοντες, όπως οι υφιστάμενες τεχνολογίες και η δομή του συστήματος, η DR μπορεί να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα οφελών για τη λειτουργία και την επέκταση του συστήματος. Τα οφέλη της DR μπορούν να ταξινομηθούν ως προς το αν αυτά συγκεντρώνονται άμεσα στους συμμετέχοντες ή στις ομάδες καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας ως εξής [26]:

- Εξοικονόμηση λογαριασμών των συμμετεχόντων: εξοικονόμηση λογαριασμού ηλεκτρικού ρεύματος και πληρωμές κινήτρων που ο πελάτης λαμβάνει για να συμφωνήσει να τροποποιήσει το φορτίο σύμφωνα με το τρέχον κόστος προμήθειας.
- Εξοικονόμηση λογαριασμών για άλλους πελάτες: χαμηλότερες τιμές χονδρικής αγοράς που προκύπτουν από τη χρήση λιγότερης ενέργειας όταν οι τιμές είναι υψηλές ή από τη μετατόπιση της χρήσης τις ώρες με χαμηλότερο κόστος.

- Οφέλη αξιοπιστίας: αναφέρονται στα οφέλη των πελατών που προέρχονται από τη μειωμένη πιθανότητα να μειωθούν αθέλητα και να προκαλέσουν ακόμα μεγαλύτερα προβλήματα, ή στα κοινωνικά οφέλη, σύμφωνα με τα οποία ο πελάτης είναι ικανοποιημένος, καθώς βοηθάει για την αποφυγή εκτεταμένων ανεπαρκειών.
- Βελτιωμένη επιλογή: οι πελάτες έχουν περισσότερες επιλογές για τη διαχείριση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ασφάλεια συστήματος: οι διαχειριστές συστημάτων είναι επιχορηγούμενοι με πιο ευέλικτα μέσα για την κάλυψη ενδεχόμενων κινδύνων.

Επιπρόσθετα, αυτά τα οφέλη μπορούν επίσης να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη δραστηριότητα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από όπου προέρχονται και περιγράφονται παρακάτω:

#### Λειτουργία συστήματος

Τα προγράμματα DR, όπου οι πελάτες μπορούν να αντιδράσουν δίκαια στις τιμές των σημάτων, αντικατοπτρίζοντας το πραγματικό λειτουργικό κόστος παραγωγής και δικτύου, μπορούν να επιτύχουν σχετικές εξοικονομήσεις στη λειτουργία του συστήματος. Ένα κομμάτι της ζήτησης σε περιόδους υψηλού κόστους παραγωγής μπορεί να αποφευχθεί ή να μεταφερθεί σε λιγότερο δαπανηρές περιόδους. Επίσης, χάρη σε αυτά τα προγράμματα, οι διαχειριστές συστημάτων και τα βοηθητικά προγράμματα διανομής μπορούν να επωφεληθούν αποφεύγοντας κόστος παραγωγής, καθώς και τα αναμενόμενα έξοδα μετάδοσης και διανομής. Σε περιπτώσεις διακοπών παραγωγής ή διανομής, η DR που αποστέλλεται από το διαχειριστή του συστήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να βοηθήσει το ηλεκτρικό σύστημα να μειώσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε κρίσιμες στιγμές. Η συμβολή της DR στην εξισορρόπηση σε πραγματικό χρόνο και στην αντιστάθμιση της μη διαθεσιμότητας του εφοδιασμού σε περίπτωση διακοπών παραγωγής, μπορεί να συνεπάγεται μείωση των απαιτήσεων των αποθεμάτων εκμετάλλευσης για ένα ορισμένο επίπεδο βραχυπρόθεσμης αξιοπιστίας της προσφοράς.

## Αποτελεσματικότητα της αγοράς

Η μεγαλύτερη συμμετοχή στην αγορά από πλευράς ζήτησης θα μπορούσε να έχει σημαντικά οφέλη. Ενδεικτικά [26], οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος μεταβάλλοντας το φορτίο τους από περιόδους υψηλών τιμών σε περιόδους χαμηλότερων τιμών το συνολικό προφίλ φορτίου ισοπεδώνεται από τη μετατόπιση της ζήτησης και ως εκ τούτου το συνολικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται, εάν η μείωση του κόστους μεταφράζεται σε μείωση των τιμών, να ωφεληθούν και οι καταναλωτές, οι οποίοι δε μεταβάλλουν τη ζήτηση τους σε τοπολογίες απόκρισης, η ικανότητα των εταιρειών παραγωγής να ασκήσουν αγοραστική δύναμη μετριάζεται.

Μια σημαντική βελτίωση της αποδοτικότητας της αγοράς μπορεί να επιτευχθεί σε απελευθερωμένα περιβάλλοντα, χάρη στα προγράμματα DR που διευθύνονται από την αγορά. Αυτά τα προγράμματα εκτελούνται συνήθως με τη μορφή τιμολογίων που ποικίλλουν ανάλογα με τον χρόνο και επιτρέπουν την ενεργό συμμετοχή της πλευράς ζήτησης στην αγορά. Στην πραγματικότητα, η DR μπορεί να μειώσει τις τιμές της χονδρικής αγοράς για το σύνολο της ενεργειακής αγοράς που διατίθεται στην αγορά. Η ανταπόκριση στις τιμές κατά τη διάρκεια περιόδων έλλειψης παραγόμενης ενέργειας και υψηλών τιμών χονδρικής επιτρέπει το μετριασμό των υψηλών τιμών χονδρικής και λιανικής και της αστάθειας τους και των επιπτώσεων των ακραίων γεγονότων του συστήματος.

## Επέκταση συστήματος

Είναι γνωστό ότι η DR μπορεί ενδεχομένως να τροποποιήσει το πρότυπο των φορτίων του πελάτη, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μετατόπιση του συνδυασμού της μέγιστης χωρητικότητας ως προς το φορτίο βάσης. Από την άλλη πλευρά, σε επίπεδο συστήματος, η εξομάλυνση του προτύπου ζήτησης συνεπάγεται την αναβολή της εγκατάστασης νέας παραγωγικής ικανότητας σε μονάδες κορυφής και την αναβολή νέων επενδύσεων σε αποθέματα παραγωγικής ικανότητας για καθορισμένο επίπεδο αξιοπιστίας ή, σε μακροπρόθεσμη βάση, αξιοπιστία δικτύου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η ηλεκτρική υποδομή που καλείται "έξυπνο δίκτυο" απαιτεί αξιοπιστία, διαχειρισσιμότητα, δυνατότητα επέκτασης, αλλά να είναι και ασφαλή, διαλειτουργικά και οικονομικά αποδοτικά. Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα τέτοιο έξυπνο δίκτυο, ενδείκνυται μία επισκόπηση των σχετικών ζητημάτων ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και της ιδιωτικής ζωής καθώς όπως είναι γνωστό, οι τεχνολογίες επικοινωνίας που χρησιμοποιούμε συχνά ελλοχεύουν κινδύνους. Για αυτήν την αξιόπιστη πλευρά του δικτύου φέρει ευθύνη το Έξυπνο Σύστημα Προστασίας, το οποίο αποτελεί υποσύστημα του SG.

#### 5.1 Αξιοπιστία Συστήματος και Προστασία Αποτυχίας

Αξιοπιστία Συστήματος: Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός δομικού στοιχείου ή συστήματος να εκτελεί τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό καθορισμένες συνθήκες για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Αυτό το χαρακτηριστικό του συστήματος αποτελεί ένα ζήτημα μείζονος σημασίας στην έρευνα και το σχεδιασμό του ηλεκτρικού δικτύου. Το μελλοντικό SG αναμένεται να προσφέρει πιο αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος και πιο έξυπνο μηχανισμό προστασίας. Η προσδοκία για τη DG είναι ότι θα χρησιμοποιηθεί ευρέως στα έξυπνα δίκτυα, ενώ η χρήση ορισμένων ανανεώσιμων πηγών μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη σταθερότητα του δικτύου.

Με τις νέες αρχιτεκτονικές, όπως το microgrid, μπορούν να υπάρχουν λιγότερες επιπτώσεις της DG στο δίκτυο. Καθώς τα φορτία εξυπηρετούνται τοπικά μέσα σε ένα microgrid, παρατηρείται λιγότερη ροή ενέργειας μέσα σε ολόκληρη την υποδομή του δικτύου. Η προστασία ενός microgrid σχετίζεται στενά με τα θέματα ελέγχου και λειτουργίας του. Με αυτόν τον τρόπο, η αξιοπιστία και η σταθερότητα του SG μπορεί να ενισχυθεί. Ωστόσο, η παραδοσιακή προστασία με ασφάλεια των δικτύων χαμηλής τάσης δεν ισχύει για το μικροδίκτυο και πρέπει να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι προστασίας. Σύμφωνα όμως με την παραπάνω έρευνα [9], βρέθηκε ένα πολύ ενθαρρυντικό αποτέλεσμα, το γεγονός, δηλαδή, ότι η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και όταν εισάγει μόνο ένα μικρό αριθμό τοπικών



γεννητριών στο δίκτυο, μπορεί να μειώσει δραματικά την πιθανότητα απόρριψης αστοχιών.

Επιπρόσθετα, η αξιοπιστία και η σταθερότητα ενός SG εξαρτάται και από την αξιοπιστία του συστήματος μέτρησης, το οποίο χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της φερεγγυότητας και της σταθερότητας του SG. Ένα άλλο ερευνητικό θέμα είναι η χρήση προσομοίωσης για την ανάλυση αξιοπιστίας του συστήματος, θέτοντας το ερώτημα πώς να δημιουργηθεί ένα σύστημα προσομοίωσης το οποίο να είναι ακριβές, ευέλικτο, προσαρμόσιμο και κλιμακωτό.

Μηχανισμοί Προστασίας Βλάβης: Σε αυτό το υποκεφάλαιο, εξετάζονται δύο θέματα που σχετίζονται με το μηχανισμό προστασίας από αποτυχίες. Αρχικά, η πρόβλεψη και η πρόληψη των αποτυχιών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο σύστημα έξυπνης προστασίας, καθώς προσπαθούν να αποτρέψουν τυχόν αποτυχίες. Στη συνέχεια, όταν το σύστημα αποτύχει, απαιτείται αναγνώριση βλάβης, διάγνωση και αποκατάσταση για να ανακάμψει το σύστημα από την αποτυχία και να λειτουργήσει κανονικά το συντομότερο δυνατό.

- Πρόβλεψη και πρόληψη βλάβης: Μια αποτελεσματική προσέγγιση για την πρόληψη των αποτυχιών, είναι η πρόβλεψη των αδύναμων σημείων ή της περιοχής σταθερότητας στο υποσύστημα ενέργειας.
- Ανίχνευση, διάγνωση και αποκατάσταση βλάβης: Μόλις παρουσιαστεί μία βλάβη, πρέπει άμεσα να εντοπιστεί ώστε να αποφευχθούν οι διαδοχικές επιπτώσεις. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση αυτού του μηχανισμού εντοπισμού βλάβης, η διαδικασία αποτελείται από:
  - ❖ Ανίχνευση και εντοπισμός βλαβών
  - ❖ Αυτοθεραπεία Δικτύου
  - ❖ Ανάκτηση δεδομένων του έξυπνου μετρητή
  - ❖ Μεθοδολογία της διαδικασίας βλάβης

## 5.2 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Το παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη εξοπλισμού για τη βελτίωση της ακεραιότητας, της διαθεσιμότητας και της εμπιστευτικότητας. Μέχρι πρόσφατα, οι σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας και εξοπλισμού θεωρήθηκαν ως υποστηρικτικές για την αξιοπιστία της βιομηχανίας της ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, η αυξημένη συνδεσιμότητα γίνεται καθοριστικής σημασίας για την ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Με την ευρεία έννοια, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει όλα τα ζητήματα πληροφορικής και επικοινωνιών που επηρεάζουν τη λειτουργία των συστημάτων παροχής ισχύος και της διαχείρισης των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Πιο συγκεκριμένα, η εξασφάλιση του ηλεκτρικού δικτύου το προστατεύει από απροσδόκητες διαδικτυακές επιθέσεις ή φυσικές καταστροφές.

### 5.2.1 Θέματα Ασφάλειας στα Smart Grids

Η ανάπτυξη ενός ασφαλούς έξυπνου δικτύου θα αντιμετώπιζε τις ακόλουθες τέσσερις προκλήσεις:

1) Το σύστημα παροχής ισχύος έχει νέες απαιτήσεις επικοινωνίας όσον αφορά τα πρωτόκολλα, την καθυστέρηση, το εύρος ζώνης, και το κόστος. Η αποφυγή της πρώιμης απαξίωσης είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της ασφάλειας των έξυπνων δικτύων.

2) Πολλές συσκευές παλαιού τύπου έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και δεκαετίες σε συστήματα αυτοματισμού ισχύος. Ειδικότερα, οι περισσότερες από αυτές επικεντρώνονται μόνο σε μια συγκεκριμένη λειτουργικότητα και συνεπώς δε διαθέτουν επαρκή χώρο μνήμης ή υπολογιστική ικανότητα αντιμετώπισης προβλημάτων ασφαλείας. Ωστόσο, μία πρόκληση αποτελεί η ενσωμάτωση του υφιστάμενου εξοπλισμού παλαιού τύπου στο έξυπνο δίκτυο, χωρίς όμως να εξασθενεί τις επιδόσεις ελέγχου.

3) Η δικτύωση στο τρέχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί ετερογενείς τεχνολογίες και πρωτόκολλα όπως ModBus, ModBus+, ProfiBus, ICCP

(Πρωτόκολλο επικοινωνίας με κέντρο ελέγχου), DNP3 κ.ά. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά σχεδιάστηκαν για συνδεσιμότητα χωρίς ασφάλεια στον κυβερνοχώρο.

4) Τα τρέχοντα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως ιδιόκτητα συστήματα που παρέχουν συγκεκριμένες επιδόσεις και λειτουργίες αλλά όχι ασφάλεια.

Πολλοί οργανισμοί ασχολούνται αυτή τη στιγμή με την ανάπτυξη απαιτήσεων ασφαλείας για έξυπνα δίκτυα και τα σχετικά θέματα κατηγοριοποιούνται σε πέντε ομάδες:

#### A. Θέματα συσκευών

Συσκευές όπως PLCs (Programmable Logical Controllers), RTU και IED αναπτύσσονται ιδιαίτερα στα συστήματα παροχής ενέργειας, τα οποία επιτρέπουν στους διαχειριστές να εκτελούν συντήρηση ή να αποστέλλουν λειτουργίες από μια απομακρυσμένη τοποθεσία. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει επίσης στους κακόβουλους χρήστες να χειριστούν τη συσκευή και να διακόψουν τις κανονικές λειτουργίες του δικτύου, όπως κλείσιμο λειτουργικών συσκευών για αποσύνδεση υπηρεσιών παροχής ενέργειας ή παραβίαση με την ανίχνευση δεδομένων για να παραπλανήσει τις αποφάσεις των φορέων εκμετάλλευσης.

Όσον αφορά τους έξυπνους μετρητές, ένα πιθανό πρόβλημα που ενδέχεται να εμφανιστεί αφορά το τιμολόγιο των πελατών, το οποίο ποικίλλει αναλόγως το κάθε άτομο, κι έτσι, οι παραβιάσεις της βάσης δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβείς λογαριασμούς. Ένα ακόμα πρόβλημα είναι οι “φυσικές επιθέσεις” που ενδέχεται να υπομείνουν οι μετρητές, όπως η αλλαγή της μπαταρίας, η αφαίρεσή τους και η τροποποίηση της λειτουργίας τους. Για να αποφευχθούν τα παραπάνω προβλήματα, απαιτείται η εξασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων του μετρητή και η ανίχνευση μη εξουσιοδοτημένων αλλαγών.

Η έλλειψη ελέγχου πρόσβασης στις διασυνδέσεις των πελατών, θα μπορούσε να αποτελεί επικίνδυνο παράγοντα στις αστικές περιοχές. Οι οικιακές συσκευές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με παρόχους υπηρεσιών ή άλλες συσκευές AMI αλλά με το ρίσκο να παραποιηθούν από κακόβουλους εισβολείς. Η διασφάλιση της

σωστής λειτουργίας της διεπαφής του πελάτη επιτυγχάνεται με τη βελτίωση της ασφάλειας του hardware και την αναβάθμιση του λογισμικού, εφόσον επικυρώνονται οι κοινοποιηθείσες πληροφορίες.

## B. Θέματα Δικτύωσης

Μολονότι υπάρχει γενική συμφωνία σχετικά με την ανάγκη των δικτύων επικοινωνίας να υποστηρίζουν μια αμφίδρομη ροή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων φορέων του ηλεκτρικού δικτύου, εξακολουθεί να υπάρχει μεγάλη συζήτηση σχετικά με τις συγκεκριμένες τεχνολογίες που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κάθε τομέα εφαρμογής των SG και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει αυτές να εφαρμοστούν. Αναμένεται ότι τα περισσότερα από τα ζητήματα ασφάλειας και προστασίας που υπάρχουν στα έξυπνα δίκτυα επικεντρώνονται κυρίως σε θέματα του διαδικτύου, των ασύρματων δικτύων και των δικτύων αισθητήρων.

Όπως και το Διαδίκτυο, πολλαπλές τεχνολογίες δικτύωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το έξυπνο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών ινών, του LMR, του 3G / 4G (WiMax), των σειριακών συνδέσεων RS-232 / RS-485 [30]. Το ποιο από αυτά θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος δικτύου και αποτελεί ένα ανοιχτό ζήτημα στην ανάπτυξη προτύπων επικοινωνίας έξυπνου δικτύου. Τα εγγενή προβλήματα, όπως οι επιθέσεις κακόβουλου λογισμικού και DoS, αποτελούν απειλές για τις λειτουργίες του δικτύου και πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης τους είναι η υιοθέτηση TCP / IP για δίκτυα έξυπνων δικτύων, η χρήση VPN (IPSec), SSH, SSL / TLS, η ανίχνευση εισβολής και προγράμματα προστασίας (firewalls).

Οι κακόβουλες επιθέσεις στη μετάδοση πληροφοριών στο SG μπορούν να ταξινομηθούν στους ακόλουθους τρεις βασικούς τύπους βάσει των στόχων τους [29]:

1. Διαθεσιμότητα δικτύου: Οι κακόβουλες επιθέσεις που στοχεύουν στη διαθεσιμότητα δικτύου μπορούν να θεωρηθούν ως επιθέσεις DoS. Προσπαθούν να καθυστερήσουν, να μπλοκάρουν ή ακόμα και να

καταστρέψουν τη διαβίβαση πληροφοριών, προκειμένου να καταστήσουν τους πόρους του δικτύου διαθέσιμους σε κόμβους που πρέπει να ανταλλάξουν πληροφορίες σε SG. Όπως έχει επισημανθεί από το NIST, η πρώτη προτεραιότητα είναι ο σχεδιασμός δικτύων μετάδοσης πληροφοριών, τα οποία είναι εύρωστα σε επιθέσεις και στοχεύουν στη διαθεσιμότητα του δικτύου, δεδομένου ότι η μη διαθεσιμότητα του δικτύου μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο κρίσιμων υποδομών ενέργειας και καταστροφής.

2. Ακεραιότητα δεδομένων: Οι επιθέσεις προστασίας προσωπικών δεδομένων προσπαθούν να παρακολουθήσουν τις επικοινωνίες στο SG για να αποκτήσουν πληροφορίες, οι οποίες δεν είναι αποθηκευμένες, όπως για παράδειγμα ο αριθμός λογαριασμού του πελάτη και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Το ιδιωτικό απόρρητο πληροφοριών: Οι επιθέσεις προστασίας της ιδιωτικής ζωής προσπαθούν να παρακολουθήσουν τις επικοινωνίες στο SG για να αποκτήσουν πληροφορίες, όπως τον αριθμό λογαριασμού του πελάτη και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα της μετάδοσης πληροφοριών, οι ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες λύσεις. Ο Khuranaet κ.ά [31] πρότεινε ένα σύνολο αρχών σχεδιασμού και συζητήθηκαν πρακτικές μηχανικής που μπορούν να βοηθήσουν στην εξασφάλιση της ορθότητας και της αποτελεσματικότητας των προτύπων για έλεγχο ταυτότητας σε πρωτόκολλα SG. Αυτές οι αρχές σχεδιασμού περιλαμβάνουν ρητά ονόματα, μοναδική κωδικοποίηση, ρητές υποθέσεις εμπιστοσύνης, χρήση χρονικών σημείων, όρια πρωτοκόλλου και ρητές παραμέτρους ασφαλείας.

### Γ. Θέματα αποστολής και διαχείρισης

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός διαφόρων μικροδικτύων. Κάθε microgrid λειτουργεί αυτόνομα στο τοπικό σύστημα SCADA και αλληλεπιδρά με τα άλλα, όπως το "Island Functionality" ή το "Islanding". Ταυτόχρονα, όλα τα microgrids θα ελέγχονται από ένα κεντρικό σύστημα SCADA

στο οποίο κάθε τοπικό SCADA λειτουργεί ως “slave controller” που παρέχει σχετικές πληροφορίες στον κεντρικό ελεγκτή. Αυτό το πλαίσιο διασφαλίζει την αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου και έχει εγκριθεί από το πρότυπο IEEE-1547. Παραδοσιακά, τα συστήματα SCADA απομονώνονται και ελέγχονται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό αλλά τα περισσότεροι από αυτά δε διαθέτουν ικανότητες ελέγχου και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Μέχρι πρόσφατα, οι μονάδες μέτρησης φάσης (PMUs) με σφραγίδα χρόνου GPS προσέφεραν λύση στο πρόβλημα αυτό. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος συγχρονισμού ρολογιού στο κατανεμημένο περιβάλλον, χρησιμοποιούνται στο τρέχον σύστημα SCADA το πρωτόκολλο NTP (Network Time Protocol) και το πρότυπο IEEE 1588 [32]. Ωστόσο, η αυξημένη διαλειτουργικότητα καθιστά ένα σύστημα SCADA πιο προσιτό στους δημόσιους χρήστες, γεγονός που αναπόφευκτα το θέτει σε κινδύνους, όπως οι παρακάτω:

- Διακοπή λειτουργίας διακομιστή (server): Εάν η IP του διακομιστή SCADA και η διαδρομή δικτύου είναι γνωστά στον εισβολέα, ο διακομιστής μπορεί εύκολα να τερματιστεί με τα παραδοσιακά DoS σφάλματα ή απλά με τη διαγραφή των αρχείων του συστήματος. Η διαγραφή των αρχείων μπορεί να γίνει λαμβάνοντας παράνομα τους κωδικούς πρόσβασης των χρηστών ή με την πρόσβαση στο φυσικό σύστημα. Οι επιθέσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό κίνδυνο και για τις μελλοντικές υπηρεσίες.
- Αποκτώντας τον έλεγχο του συστήματος: Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός Trojan ή μέσω εισόδου “backdoor” στα μητρώα του συστήματος. Κάτι τέτοιο είναι η υψηλότερη κλίμακα απειλής ασφάλειας, με την οποία μπορεί να δημιουργηθεί και να αποσταλεί ένας ψευδής συναγερμός.
- Κλοπή εταιρικών δεδομένων: Αυτά τα προβλήματα προκύπτουν εάν το επίπεδο ασφάλειας της επιχείρησης είναι χαμηλό και η αρχιτεκτονική λογισμικού που χρησιμοποιείται δεν είναι ιδιαίτερα ικανή. Τα εταιρικά δεδομένα μπορούν να κλαπούν από τη βάση δεδομένων για τον εσωτερικό ανταγωνισμό μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών.

- Παραποίηση πληροφοριών χρέωσης: Οι εισβολείς ενδέχεται να έχουν πρόσβαση στις χρεώσεις και σε άλλες οικονομικές πληροφορίες του συστήματος για να λάβουν προσωπικά στοιχεία, τα οποία ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν λανθασμένα και να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στους καταναλωτές. Εξαιτίας αυτού, πρέπει να υπάρχει ένα ισχυρό τείχος προστασίας (firewall) για την προστασία των διακομιστών από την απώλεια αυτών των πληροφοριών.
- Λογισμικό “Key logger”: Οι επιτιθέμενοι βρίσκουν συνήθως ο,τιδήποτε πληκτρολογείται από τον χρήστη και αποκτούν πρόσβαση στους κωδικούς του συστήματος και στα ονόματα των χρηστών.
- Απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος: Οι επιτιθέμενοι από έναν πάροχο υπηρεσιών τείνουν συνήθως να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των άλλων για να γνωρίσουν τις στρατηγικές τους και έτσι ώστε να επωφεληθούν τελικά σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον.
- Λανθασμένη χρήση των διακομιστών SCADA: Η εσφαλμένη χρήση έχει ως αποτέλεσμα την επίθεση σε άλλους διακομιστές του συστήματος και συνεπώς στην απόκτηση πολύτιμων πληροφοριών από τις εταιρείες κοινής ωφέλειας.

#### Δ. Ζητήματα ανίχνευσης ανωμαλιών

Οι αξιόπιστες λειτουργίες του έξυπνου δικτύου απαιτούν έγκαιρη και ακριβή ανίχνευση για τα ασυνήθιστα γεγονότα και τα περιστατικά υψηλού κινδύνου. Οι τρόποι ανίχνευσης και αντιμετώπισης σφαλμάτων και βλαβών στο ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να επανεξεταστούν και να μελετηθούν σε ένα μοντέλο που περιλαμβάνει συστηματικό κακόβουλο χειρισμό.

Για να ικανοποιηθούν τα κριτήρια αυτοματοποιημένης ανάλυσης σφαλμάτων στο έξυπνο δίκτυο, πραγματοποιήθηκαν αρκετές μελέτες, οι οποίες περιλαμβάνουν:

1. Μια ιδέα για την ανίχνευση και την ταξινόμηση των γεγονότων με βάση τα τοπικά δεδομένα και τα δεδομένα παρακολούθησης σε ολόκληρο το σύστημα.
2. Εφαρμογή ενός βέλτιστου αλγορίθμου εντοπισμού βλαβών που χρησιμοποιεί δεδομένα από υποσταθμό IEDs, καθώς και δεδομένα προσομοίωσης από προγράμματα βραχυκυκλώματος.
3. Ανάπτυξη μεθοδολογίας διαχείρισης κινδύνου με βάση τον κίνδυνο για τον προγραμματισμό συντήρησης που λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα που βασίζονται σε συνθήκες που καλύπτονται από τους υποσταθμούς IEDs.

#### Ε. Άλλα ζητήματα

Σχεδόν όλα τα σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας δεδομένων τηρούν ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων, το οποίο είναι πλήρως τεκμηριωμένο και διατίθεται στο κοινό. Το πρωτόκολλο DNP χρησιμοποιείται ευρέως από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη Βόρεια Αμερική και η προδιαγραφή του μπορεί να επιτευχθεί με ονομαστική χρέωση του χρήστη. Η χρήση αυτών των τεκμηριωμένων πρωτοκόλλων επιτρέπει σε έναν εισβολέα να κάνει “reverse engineering” του πρωτοκόλλου απόκτησης δεδομένων και να εκμεταλλευτεί το πρωτόκολλο χρησιμοποιώντας μια “Man-in-the-middle” επίθεση [32]. Οι επιπτώσεις θα μπορούσαν να είναι δυσμενείς περιλαμβάνοντας την αποστολή παραπλανητικών δεδομένων στον χειριστή του κέντρου ελέγχου, με αποτέλεσμα πιθανή οικονομική απώλεια, εάν η επίθεση οδηγήσει σε υπερβολική παραγωγή ρεύματος, και βλάβη του εξοπλισμού εάν οι εντολές ελέγχου που αποστέλλονται στο πεδίο οδηγούν σε συνθήκες υπερφόρτωσης.

#### 5.2.2 Θέματα Ιδιωτικού Απορρήτου στα Smart Grids

Ο ευφυής έλεγχος και η οικονομική διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας απαιτούν μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων



υπηρεσιών. Τα μη προστατευόμενα δεδομένα που σχετίζονται με την ενέργεια θα προκαλέσουν εισβολές ιδιωτικού απορρήτου στο έξυπνο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, μέσω παρεμβολών στο AMI μπορούν να αποκαλύψουν πληροφορίες σχετικά με το πού ήταν οι άνθρωποι και πότε και τι έκαναν. Οι ρυθμιστικοί φορείς και οι πελάτες δε θα κάνουν αποδεκτή την αδυναμία αντιμετώπισης των προβλημάτων ιδιωτικού απορρήτου στο έξυπνο δίκτυο. Σε αυτή την ενότητα θα δώσουμε μια σύντομη επισκόπηση των τρεχουσών μελετών σχετικά με τα ζητήματα ιδιωτικού απορρήτου στο έξυπνο δίκτυο.

#### A. Προσωπικές Πληροφορίες

Οι προσωπικές πληροφορίες είναι οποιαδήποτε καταγεγραμμένη πληροφορία που μπορεί να εντοπίσει ένα άτομο άμεσα ή έμμεσα. Εκτός από το όνομα κάποιου, το βιογραφικό του και τα στοιχεία επικοινωνίας, μπορεί να περιλαμβάνονται επίσης προσωπικές επιλογές, κοινωνικές δραστηριότητες, προβλήματα υγείας ή οποιοσδήποτε οικονομικές, σωματικές ή διανοητικές πληροφορίες που προκύπτουν από τα παραπάνω, καθώς και δεδομένα για άλλους συγγενείς. Στο πλαίσιο του έξυπνου δικτύου, κάθε είδος δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με προσωπικές πληροφορίες πρέπει να διασφαλίζεται και να παρακολουθείται με τον κατάλληλο τρόπο. Σύμφωνα με το NIST, δίνεται μια λίστα προσωπικών πληροφοριών που μπορεί να είναι διαθέσιμες μέσω του έξυπνου δικτύου ως εξής:

- 1) Όνομα: υπεύθυνος για το λογαριασμό
- 2) Διεύθυνση: τοποθεσία στην οποία πραγματοποιείται η υπηρεσία
- 3) Αριθμός λογαριασμού: μοναδικό αναγνωριστικό για το λογαριασμό
- 4) Ανάγνωση μετρητών: Η κατανάλωση kWh καταγράφεται σε διαστήματα 15-60 λεπτών κατά τη διάρκεια του τρέχοντος κύκλου χρέωσης
- 5) Τρέχων λογαριασμός: τρέχον ποσό που οφείλεται στο λογαριασμό
- 6) Ιστορικό τιμολόγησης: προηγούμενες μετρήσεις μετρητών και λογαριασμούς, συμπεριλαμβανομένου του ιστορικού των καθυστερημένων πληρωμών / αδυναμίας πληρωμής
- 7) HAN: οικιακές ηλεκτρικές συσκευές

8) Τρόπος ζωής: όταν το σπίτι είναι κατειλημμένο και είναι ακατοίκητο, όταν οι επιβάτες είναι ξύπνιοι και όταν κοιμούνται, ποια διαφορετικά είδη εξοπλισμού χρησιμοποιούνται κ.ά.

9) DER: η παρουσία παραγωγής στις εγκαταστάσεις, οι συσκευές αποθήκευσης, η κατάσταση λειτουργίας, η καθαρή παροχή ή κατανάλωση από το δίκτυο, τα πρότυπα χρήσης

10) IP του μετρητή: εφόσον διαθέτει, η διεύθυνση IP του μετρητή

11) Πάροχος υπηρεσιών: ταυτότητα του συμβαλλόμενου μέρους που προμηθεύει αυτόν το λογαριασμό, ο οποίος αφορά μόνο τις αγορές λιανικής πρόσβασης

## B. Θέματα Ιδιωτικότητας

Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας που λαμβάνονται από τρίτους μπορούν να αποκαλύψουν προσωπικές πληροφορίες χωρίς την άδειά τους. Εκτός από την θέσπιση αντίστοιχων νόμων και κανονισμών για την προστασία προσωπικών πληροφοριών στο έξυπνο δίκτυο, απαιτείται επίσης ένας ασφαλή μηχανισμός για την αποτροπή παραβίασης της ιδιωτικής ζωής από την παραβίαση τοπικών δεδομένων και απομακρυσμένων αντιγράφων. Σύμφωνα με τη μελέτη του NIST [33], παρουσιάζονται παρακάτω τέσσερις τυπικοί τομείς προστασίας της ιδιωτικής ζωής το έξυπνο δίκτυο:

Αρχικά, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η απάτη, ειδικά όταν η κατανάλωση ενέργειας αποδίδεται σε διαφορετική τοποθεσία. Το σύστημα μέτρησης δεν πρέπει να επιτρέπει την κατάχρηση προσωπικών δεδομένων ούτε την τροποποίηση των συλλεχθέντων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την αναφορά του NIST [33] έχουν αναλυθεί λεπτομερώς δύο περιπτώσεις χρήσης απορρήτου. Μία περίπτωση αφορά έναν γαιοκτήμονα με ενοικιαστές που έχουν PHEV που απαιτούν να χρεώνονται χωριστά. Για λόγους διαφύλαξης του ιδιωτικού απορρήτου, εμπλέκεται η χρησιμότητα για την εξακρίβωση της γνησιότητας των επικοινωνιών μεταξύ του έξυπνου μετρητή και των PHEVs μέσω μιας διασυνδεδεμένης διεπαφής επικοινωνίας υπηρεσιών γραμμών και υπηρεσιών (ESCI) που παρέχεται από τον κατασκευαστή του βοηθητικού εξοπλισμού και / ή του οχήματος. Για την ολοκλήρωση της αρχικής εγκατάστασης για PHEVs, το NIST ισχυρίζεται ότι οι εταιρείες κοινής ωφέλειας πρέπει να προσφέρουν τις ακόλουθες υπηρεσίες στους

πελάτες: i) άδεια, ii) εγγραφή, iii) αρχική σύνδεση, iv) δυνατότητα αποκατάστασης της σύνδεσης v) παροχή τιμολόγησης PHEV ή πληροφοριών κατάστασης φόρτισης στις διεπαφές πελάτη και vi) διόρθωση λογαριασμού.

Κατά δεύτερον, τα δεδομένα του έξυπνου μετρητή θα μπορούσαν να αποκαλύψουν ορισμένες δραστηριότητες έξυπνων οικιακών συσκευών. Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των συγκεκριμένων χρόνων και τοποθεσιών της κατανάλωσης ενέργειας σε ακριβείς περιοχές του σπιτιού, οι οποίες είναι δυνατό να επισημαίνουν τις συσκευές που χρησιμοποιούνται ή ακόμα και τον τύπο δραστηριότητά τους. Επί παραδείγματι, οι πωλητές συσκευών μπορεί να χρειάζονται αυτό το είδος δεδομένων ώστε να γνωρίζουν τον τρόπο και το λόγο με τους οποίους τα άτομα χρησιμοποίησαν τα προϊόντα τους. Συνεπώς, οι πληροφορίες αυτές θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις εγγυήσεις των συσκευών. Παράλληλα, τα δεδομένα αυτά ενδέχεται να χρειαστούν για να πραγματοποιήσει ενός πιο στοχευμένου μάρκετινγκ.

Τρίτον, με την απόκτηση δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, συμπεραίνεται αν μια κατοικία ή εγκατάσταση είναι κατοικημένη ή όχι και τέλος, οι προσωπικές πληροφορίες για τον τρόπο ζωής, οι οποίες προέρχονται από δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσαν να είναι πολύτιμες για ορισμένους πωλητές ή ομάδες. Οι ωφέλιμες πληροφορίες μπορούν να αποκαλυφθούν με νέες τεχνολογίες, όπως οι έξυπνοι μετρητές, ο χρόνος χρήσης και τα ποσοστά ζήτησης και ο άμεσος έλεγχος του φορτίου του εξοπλισμού. Έτσι, θα μπορούσαν να πωληθούν και να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για ανάλυση ενεργειακής διαχείρισης και συγκρίσεις ομότιμων. Επιπλέον, κατά την αναθεώρηση των υφιστάμενων νομοθετικών και κανονιστικών πολιτικών, πρέπει να εξεταστούν δύο πτυχές των δεδομένων του έξυπνου δικτύου ώστε να διασφαλιστεί η αντιμετώπιση νέων τύπων δεδομένων.

Στο παρόν κεφάλαιο, αναφέρθηκε κυρίως μια επισκόπηση των θεμάτων ασφάλειας και ιδιωτικής ζωής στο ευφυές δίκτυο. Σύμφωνα με την υπάρχουσα έρευνα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σχεδόν κάθε πτυχή που σχετίζεται με την IT τεχνολογία στο έξυπνο δίκτυο έχει πιθανές ευπάθειες λόγω εγγενών κινδύνων ασφαλείας στο γενικό περιβάλλον πληροφορικής. Τα ζητήματα ασφαλείας και

προστασίας της ιδιωτικής ζωής στο έξυπνο δίκτυο είναι νέοι τομείς στη βιομηχανία της ενέργειας, της ηλεκτρολογίας και της επιστήμης των υπολογιστών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 6.1 Χρήσιμα Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μία επισκόπηση των Έξυπνων Ενεργειακών Δικτύων, βασισμένη σε προηγούμενες έρευνες, οι οποίες εξετάζουν τα κύρια ζητήματα των SG. Τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα δημιουργήθηκαν όλα πριν από έναν αιώνα. Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται, έχουν γίνει προσθήκες στα δίκτυα. Δεδομένου των συνθηκών, στο παρόν κείμενο, υπογραμμίζεται η ανάγκη για μετάβαση από το υπάρχον δίκτυο σε αυτό που αποκαλείται, εναλλακτικά, και ευφυές δίκτυο. Η κύρια διαφορά ενός έξυπνου δικτύου με ένα συμβατικό δίκτυο είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της παραγωγής ενέργειας και της κατανάλωσης σε αντίθεση με το παραδοσιακό μονόδρομο μοντέλο.

Η επιτυχία του μελλοντικού έξυπνου δικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υποδομές του, τις συσκευές και το λογισμικό του, καθώς για να καλυφθεί η ζητούμενη βέλτιστη επικοινωνία απαιτούνται πολλές διασυνδέσεις, κάτι που επιτυγχάνεται με αλλαγές στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Με την ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας παρέχεται αξιοπιστία, καλύτερες υπηρεσίες παροχής ενέργειας, βελτιωμένη ασφάλεια για το ηλεκτρικό δίκτυο, ταχύτερος χρόνος επισκευής και στη συνέχεια ταχύτερη αποκατάσταση. Τέλος, μέσω των SG, οδηγούμαστε σε ένα περιβαλλοντικά υγιές μέλλον, και εν τέλει, σε επανάσταση της καθημερινότητά μας.

Ένα ακόμα αξιοσημείωτο κομμάτι των SG είναι οι έξυπνοι μετρητές. Ειδικότερα, οι έξυπνοι μετρητές και τα οικιακά συστήματα διαχείρισης ενέργειας επιτρέπουν στους πελάτες να προγραμματίζουν πώς και πότε το σπίτι τους χρησιμοποιεί ενέργεια. Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας αλλάζει η ζήτηση για ενέργεια και είναι συνήθως χαμηλότερη τις νυχτερινές ώρες και υψηλότερη από το μεσημέρι έως τις 9 μ.μ., αυτό όμως μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τα καιρικά φαινόμενα και το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρέπει να συμβάλλουν σε αυτό για να καλύψουν τις ανάγκες των

καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, όταν η ζήτηση είναι υψηλότερη. Τα ποσοστά χρήσης χρόνου ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να χρησιμοποιήσουν ενέργεια όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, δίνοντάς τους έτσι μια καλύτερη τιμή για την ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών. Με έναν προσωπικό υπολογιστή ή μία φορητή συσκευή χειρός, είναι δυνατό να βλέπουν πότε οι τιμές είναι υψηλότερες και να ειδοποιούνται όταν οι τιμές ανεβαίνουν, ώστε να μπορούν να απενεργοποιούν από απόσταση τις περιττές συσκευές μέχρι να μειωθεί η ζήτηση και να μειωθούν οι τιμές.

Σύμφωνα με πολιτική της ΕΕ που οδηγεί στην ανάγκη για έξυπνα δίκτυα, από το 2007 η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί να επιτύχει τους αποκαλούμενους στόχους 20-20-20. Αναλυτικότερα, μέχρι το 2020, αναμένεται η ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, ώστε να παράγεται το 20% της ενέργειας που καταναλώνεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και με αυτό τον τρόπο, θα έχει καταναλωθεί κατά 20% λιγότερη ενέργεια [34]. Το μεταβαλλόμενο ενεργειακό σενάριο στην Ευρώπη απαιτεί μια επανεξέταση του τρόπου με τον οποίο πρέπει να διατηρούνται σταθερά τα έσοδα ενώ ταυτόχρονα να γίνεται βέλτιστη χρήση των νέων πηγών ενέργειας και να μειώνεται το κόστος των υποδομών. Αντί να επεκτείνεται μόνο η υλική υποδομή, η οποία είναι εξαιρετικά δαπανηρή, εισάγονται συμπληρωματικές λύσεις πληροφορικής, προσθέτοντας επικοινωνία, αισθητήρες και αυτοματοποίηση που επιτρέπουν στα νέα μοντέλα δικτύων να διαχειρίζονται ενεργά τη διαφορετική παραγωγή και ζήτηση.

Παρόλο που τα έξυπνα δίκτυα βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, θα αποτελέσουν έναν από τους βασικούς παράγοντες για περισσότερες τεχνολογικές εξελίξεις. Άλλες σχετικές νέες τεχνολογίες, όπως η έξυπνη μέτρηση και η αποθήκευση ενέργειας, δοκιμάζονται σε μεγάλη κλίμακα και σε σενάρια πραγματικής ζωής και έχουν ήδη αναπτυχθεί ακόμη σε ορισμένα χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## 6.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το SG αποτελείται από τρία μεγάλα τεχνικά συστήματα: το έξυπνο σύστημα υποδομών, το έξυπνο σύστημα διαχείρισης και το έξυπνο σύστημα προστασίας. Για καθένα από αυτά τα τρία συστήματα υπάρχουν πολλές προκλήσεις μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας προς αναζήτηση. Ειδικότερα, με την εμφάνιση των νέων τεχνολογιών, όπως το blockchain [35], η τεχνητή νοημοσύνη (AI), ενισχύεται η ανάπτυξη αυτών συστημάτων, διευκολύνοντας παράλληλα την πλήρη λειτουργία του δικτύου.

Η αύξηση της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες παραγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και η αλλαγή στη συμπεριφορά των καταναλωτών, έχουν πλέον έναν πιο ενεργό ρόλο, έχουν καταστήσει το υπάρχον δίκτυο παρωχημένο. Η περαιτέρω έρευνα για την αξιοποίηση της τεχνολογίας Blockchain στη βιομηχανία της ενέργειας κρίνεται αναγκαία, καθώς θα μπορούσε να συμβάλει στην αλλαγή του ενεργειακού συστήματος, καθιστώντας το πιο ευέλικτο. Πιο συγκεκριμένα, το Blockchain είναι ένα αμετάβλητο και μη αναστρέψιμο ψηφιακό δημόσιο βιβλίο, το οποίο επιτρέπει σε ένα κατακευματισμένο δίκτυο υπολογιστών να επαληθεύει την αυθεντικότητα των συναλλαγών χωρίς την ανάγκη μιας κεντρικής αρχής. Επίσης, η τεχνολογία αυτή υπόσχεται διαφανή, ανθεκτικά στις παραβιάσεις και ασφαλή συστήματα, κάτι που μπορεί να επιλύσει κάποια από τα σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα σημερινά δίκτυα.

Χάρη στα παραπάνω χαρακτηριστικά του Blockchain που αναφέραμε, θεωρείται ιδανικό για υιοθεσία στην ενεργειακή βιομηχανία, ειδικά σε ό,τι αφορά το εμπόριο ενέργειας peer-to-peer. Το εμπόριο ενέργειας μέσω peer-to-peer αναφέρεται στην εμπορία ενέργειας από ένα άτομο ή μια οντότητα (παραγωγός) σε ένα άλλο πρόσωπο ή οντότητα (καταναλωτή), χωρίς τη χρήση ενδιάμεσου φορέα. Για να καταστεί όμως το εμπόριο ενέργειας peer-to-peer μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στο σημερινό σύστημα, υπάρχει ανάγκη για νέα κανονιστικά μέτρα για την εξάλειψη των νομικών μονοπωλίων και για την υλοποίηση ενός blockchain που μπορεί να συνδυαστεί με ένα microgrid.

Όπως παρατηρείται [36], πολλοί καταναλωτές θα ήθελαν να παράγουν και να καταναλώνουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, αλλά δυστυχώς δεν έχουν την

οικονομική δυνατότητα. Το σημερινό σύστημα, δυστυχώς, απαιτεί από τη δημόσια επιχείρηση να διαδραματίσει ρόλο μεσάζοντος, δηλαδή τρίτου μεσολαβητή, μεταξύ των καταναλωτών και των καταναλωτών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας, οι καταναλωτές θα μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να αγοράζουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τους γείτονές τους με ηλιακή ενέργεια, αναπτύσσοντας έτσι νέα μοντέλα αγοράς και εκδημοκρατισμό της ενέργειας. Βέβαια, δεν παύουν να λείπουν και οι προκλήσεις για την επίτευξη διείσδυσης στην αγορά, συμπεριλαμβανομένων των νομικών, κανονιστικών και των εμποδίων ανταγωνισμού.

Εν κατακλείδι, για την περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη των Έξυπνων Ενεργειακών Δικτύων απαιτείται η συνεχής αναζήτηση καινοτόμων λύσεων και υιοθέτηση των αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως AI, deep learning και Blockchain, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι λειτουργίας και επιδόσεων. Η εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών αναμένεται να φέρει περισσότερες και αξιόπιστες εφαρμογές για τις πλατφόρμες IoT και τις υπηρεσίες που απαιτούν πολύ γρήγορη επιβεβαίωση και μεγάλο αριθμό συναλλαγών.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Oleg Gulich, Technological and Business Challenges of Smart Grids, Διπλωματική Εργασία, Φινλανδία: Lappeenranta University of Technology 2010
- [2] elass uthrpatras Κεφ.1 Βιβλίου σελ.9/19
- [3] H. Gharavi and R. Ghafurian, "Smart Grid: The Electric Energy System of the Future [Scanning the Issue]", *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 917-921, 2011. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2124210
- [4] Wikipedia, Διαθέσιμο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid) [Προσπελάστηκε 25 Μαΐου 2019]
- [5] A. Annaswamy, "Smart Grid Research: Control Systems", 2013. DOI: 10.1109/IEEESTD.2013.6648362
- [6] Γ.Β. Γιαννακόπουλος και Ν.Α. Βοβός, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Θεσσαλονίκη :Ζήτη.
- [7] A. Ipekchi and F. Albuyeh, "Grid of the future", *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 52-62, 2009. DOI: 10.1109/MPE.2008.931384
- [8] Energy Transition Institute, Διαθέσιμο: <http://www.energy-transition-institute.com> [Προσπελάστηκε 25 Μαΐου 2019]
- [9] X. Fang, S. Misra, G. Xue and D. Yang, "Smart Grid: The New and Improved Power Grid: A Survey," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp 944-980, 2012, DOI: 10.1109/SURV.2011.101911.00087
- [10] <https://medium.com/robotina-ico/what-are-smart-grids-6a0401405e05>
- [11] *Distributed generation in liberalised electricity markets*. Paris, 2002
- [12] Npower, Διαθέσιμο: <https://www.npower.com/blog/2018/08/29/how-do-smart-meters-send-data/> [Προσπελάστηκε 1 Ιουνίου 2019]
- [13] G. Barai, S. Krishnan and B. Venkatesh, "Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review", *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2015.
- [14] Wikipedia, Διαθέσιμο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_meter](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter)

- [15] Npower, Διαθέσιμο: <https://www.npower.com/blog/2018/08/29/pros-cons-smart-meter/>  
[Προσπελάστηκε 1 Ιουνίου 2019]
- [16] Edison Electric Institute, Διαθέσιμο: <http://docplayer.net/4271925-Smart-meters-and-smart-meter-systems-a-metering-industry-perspective.html> [Προσπελάστηκε 1 Ιουνίου 2019]
- [17] N. Zivic, O. Ur-Rehman and C. Ruland, "Smart Metering for Intelligent Buildings", *Transactions on Networks and Communications*, vol. 4, no. 5, 2016. DOI: 10.1109/TELFOR.2015.7377547
- [18] Q. Ou, Y. Zhen, X. Li, Y. Zhang and L. Zeng, "Application of the Internet of Things in Smart Grid Power Transmission", 2012. DOI: 10.1109/MUSIC.2012.24
- [19] E. Tsampasis, D. Bargiotas, C. Elias and L. Sarakis, "Communication challenges in Smart Grid", *MATEC Web of Conferences*, vol. 41, p. 01004, 2016. DOI: 10.1051/mateconf/20164101004
- [20] L. Wenpeng, D. Sharp, and S. Lancashire, "Smart grid communication network capacity planning for power utilities," in Proc. IEEE PES, Transmission Distrib. Conf. Expo., Apr. 19–22, 2010, pp. 1–4
- [21] Y. Peizhong, A. Iwayemi, and C. Zhou, "Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 110–120, Mar. 2011.
- [22] V. Gungor et al., "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529-539, 2011. DOI: 10.1109/TII.2011.2166794
- [23] A. A. Atayero, A. A. Alatishe, and Y. A. Ivanov, "Power Line Communication Technologies: Modeling and Simulation of PRIME Physical Layer", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2012. DOI: 10.13140/RG.2.2.33300.50561
- [24] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 5-20, 2013. DOI: 10.1109/surv.2012.021312.00034

- [25] R. Deng, Z. Yang, M. Chow and J. Chen, "A Survey on Demand Response in Smart Grids: Mathematical Models and Approaches", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 570-582, 2015. DOI: 10.1109/tii.2015.2414719
- [26] P. Siano, "Demand response and smart grids—A survey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461-478, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2013.10.022
- [27] Assessment of demand response and advanced metering," Federal Energy Regulatory Commission, Tech. Rep., 2012.
- [28] J. Vardakas, N. Zorba and C. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 152-178, 2015. DOI: 10.1109/comst.2014.2341586
- [29] D. Wei, Y. Lu, M. Jafari, P. Skare and K. Rohde, "Protecting Smart Grid Automation Systems Against Cyberattacks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp. 782-795, 2011. DOI: 10.1109/tsg.2011.2159999
- [30] Wikipedia, Διαθέσιμο: <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232> [Προσπελάστηκε 1 Ιουνίου 2019]
- [31] Z. Lu, X. Lu, W. Wang, and C. Wang. Review and evaluation of security threats on the communication networks in the smart grid. Military Communications Conference'2010, pages 1830–1835, 2010
- [32] F. Alsiherov and T. Kim, "Secure SCADA network technology and methods," in: Proc. 12th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation, Catania, Italy, May 2010, pp.434-438
- [33] U.S. NIST, "Guidelines for smart grid cyber security (vol. 1 to3)," NIST IR-7628, Aug. 2010, available at: <http://csrc.nist.gov/publications/PubsNISTIRs.html#NIST-IR-7628>
- [34] <https://www.edsoforsmartgrids.eu/home/why-smart-grids/>
- [35] Wikipedia, Διαθέσιμο: <https://el.wikipedia.org/wiki/Blockchain> [Προσπελάστηκε 2 Ιουνίου 2019]
- [36] Hackernoon, Διαθέσιμο: <https://hackernoon.com/trading-energy-will-blockchain-disrupt-the-energy-industry-34a6a9e90112> [Προσπελάστηκε 2 Ιουνίου 2019]

