

Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

---

ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΟΣ & ΒΑΣΙΛΗΣ ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

# Περίληψη

---

Οι τεχνολογίες δικτύων πλέγματος σχεδιάστηκαν προκειμένου να παρέχουν ταχύτερους υπολογισμούς και πρόσβαση σε σχεδόν απεριόριστους αποθηκευτικούς πόρους ακολουθώντας μια διαφορετική προσέγγιση. Αντί να επικεντρώνεται στη βελτίωση της απόδοσης μιας επιμέρους υποδομής (π.χ. κέντρα δεδομένων, υπερυπολογιστές) βασίζεται στην έννοια της κοινής χρήσης ενός συνόλου κατανεμημένων και ετερογενών πόρων που ανήκουν σε διαφορετικές διαχειριστικές αρχές. Οι πόροι που διαμοιράζονται μέσω των δικτύων πλέγματος περιλαμβάνουν υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, εξειδικευμένο λογισμικό, ειδικά επιστημονικά όργανα καθώς και συσκευές αισθητήρων. Με τον τρόπο αυτό το επίπεδο υπολογιστικής ισχύος και αποθηκευτικής χωρητικότητας που μπορεί να παρέχουν τα δίκτυα πλέγματος είναι πολλαπλάσιο από εκείνο ενός μεμονωμένου υπολογιστικού συστήματος. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί αναλογική ή ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συγκεντρώσει και να ενεργήσει με βάση πληροφοριών όπως πληροφορίες σχετικά με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών με αυτοματοποιημένο τρόπο για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία, και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας με ηλεκτρονικά μέσα και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου. Τα κύρια πλεονεκτήματα από τα πολύπλοκα αλλά και αποδοτικά αυτά δίκτυα είναι: η βελτίωση των υποδομών, η μείωση του κόστους επέκτασης και συντήρησης του υφιστάμενου δικτύου, η ενίσχυση στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η μείωση των απωλειών του δικτύου, η μείωση των αερίων ρύπων και η μείωση των blackouts και των διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των σύγχρονων τεχνολογιών πρόσβασης και διαδικτύου που μπορούν να βρουν εφαρμογή σε ένα Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο (Smart Grid) καθώς και η εξήγηση σε κάθε ενδιαφερόμενο τι είναι τα έξυπνα δίκτυα πλέγματος, ποιες είναι οι εφαρμογές τους, ποιες οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν, πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα, ελληνική πραγματικότητα και πολλές άλλες χρησιμότητες των έξυπνων δικτύων σήμερα.

## Λέξεις Κλειδιά:

Έξυπνο δίκτυο πλέγματος, έξυπνος μετρητής ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, PLC, ZigBee, WAN, HAN, NAN, επικοινωνίες, τεχνολογία

# Abstract

---

Grid network technologies were designed to provide faster calculations and access to virtually unlimited storage resources following a different approach. Instead of focusing on improving the performance of an individual infrastructure (e.g. data centers, supercomputers), It is based on the concept of sharing a set of distributed and heterogeneous resources belonging to different management principles. The resources distributed through the grid networks include computing, storage and network resources, specialized software, special scientific instruments as well as sensor devices. In this way, the level of computational power and storage capacity that grid networks can provide is multiple than that of a single computing system. A smart grid is a modernized grid that uses analogue or digital information and communications technology to gather and act on information such as information on supplier and consumer behaviors in an automated way to improve the efficiency, reliability, economy, and the sustainability of electricity generation and distribution. Managing electricity by electronic devices and controlling the production and distribution of electricity are important aspects of the smart grid. The main advantages of these complex but efficient networks are: improving infrastructure, reducing the cost of extending and maintaining the existing grid, enhancing the integration of renewable energy sources, reducing network losses, reducing gaseous pollutants and the reduction of blackouts and electricity interruptions.

The purpose of this diploma thesis is to study and analyze the modern access and internet technologies that can be applied to a Smart Grid as well as to expand the interest on what smart grids are, what their applications are, what technologies they use, advantages - disadvantages, Greek reality and many other utilities of smart networks today.

## Keywords:

Smart Grid Network, Smart Meter, PLC, ZigBee, WAN, HAN, NAN, Communications, Technology

# Ευχαριστίες

---

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κύριο Μιχαήλ Παρασκευά για την ανάθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την μεγάλη και πολύτιμη στήριξη που μας πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

# Περιεχόμενα

---

Περίληψη .....	2
Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	3
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή .....	6
1.1 Τι Είναι Τα Δίκτυα Πλέγματος .....	7
1.2 Εισαγωγή Στα Έξυπνα Δίκτυα Πλέγματος .....	8
1.3 Έξυπνο Δίκτυο Και Τεχνολογίες Επικοινωνιών.....	11
1.3.1 Αρχιτεκτονικές Και Τεχνολογίες Επικοινωνιών.....	13
1.3.2 Προϋποθέσεις Για Το Σύστημα Επικοινωνιών.....	14
1.4 Προκλήσεις Και Ανάγκες.....	16
1.4.1 Προκλήσεις Αγοράς Και Επενδύσεων .....	16
1.4.2 Αναπτυσσόμενη Τεχνολογία Και Ευελιξία .....	17
1.4.3 Προβλήματα Ασφάλειας Και Προστασίας Δεδομένων.....	18
1.4.4 Έλλειψη Συνειδητοποίησης.....	24
1.4.5 Διαλειτουργικότητα .....	25
1.4.6 Προβλήματα Συστήματος Αυτοθεραπείας.....	25
1.4.7 Προβλήματα Τυποποίησης.....	26
1.5 Ελληνική Πραγματικότητα.....	27
1.5.1 Το Έργο Έλενα .....	35
Κεφάλαιο 2 : Έξυπνοι Μετρητές.....	36
2.1 Smart Metering .....	41
2.1.1 Τάσεις Των Έξυπνων Συστημάτων Μέτρησης.....	42
2.1.2 Αρχιτεκτονική Ενός Συστήματος Smart Metering.....	43
2.1.3 Ανάλυση Λειτουργιών Έξυπνων Μετρητών.....	43
2.1.4 Συγκεντρωτής Δεδομένων.....	44
2.1.5 Σύστημα Επικοινωνίας .....	45
2.1.6 Κέντρο Ελέγχου .....	45
2.1.7 Εφαρμογές Smart Metering .....	46
2.2 Machine To Machine (M2M) .....	48

2.3 Ενσύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνίας .....	52
2.3.1 Power Line Communication (PLC) .....	53
2.3.2 Digital Subscriber Line (DSL).....	56
2.3.3 Οπτικές Ίνες (FTTx) .....	56
2.3.4 Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση Και Ψηφιακή Ιεραρχία (SONET/SDH).....	57
2.3.5 Ethernet.....	58
2.3.6 PSTN.....	58
2.3.7 FTTH.....	59
2.3.8 WDM.....	59
2.3.9 Τεχνολογίες Δικτύωσης Ευρείας Περιοχής (WAN).....	59
2.3.10 GPRS .....	60
2.4 Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνίας.....	60
2.4.1 ZigBee.....	62
2.4.2 WiMax.....	66
2.4.3 WiFi.....	67
2.4.4 Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας (GSM/GRPS).....	67
2.4.5 Bluetooth .....	69
2.4.6 6LoWPAN .....	70
2.4.7 UWB .....	70
2.4.8 Z-Wave .....	71
2.4.9 Ραδιοσυχνότητες (RF) .....	71
2.4.10 Σύγκριση Ασύρματων Τεχνολογιών HAN Και NAN.....	72
Κεφάλαιο 3 : Εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων .....	73
3.1 AMI .....	74
3.2 HEMS .....	76
3.3 DA και DER's.....	77
3.4 EV's.....	80
3.6 Έξυπνο Σπίτι (SEH) .....	83
Συμπεράσματα .....	84
Βιβλιογραφία .....	85

# Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

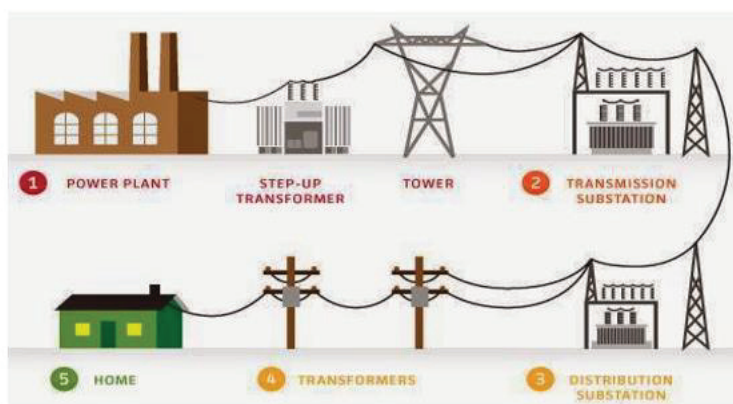
Με το πέρασμα των χρόνων η ζήτηση για παροχή ρεύματος και η χρήση αυξήθηκε δραματικά πράγμα που οδήγησε σε αύξηση των σταθμών παραγωγής. Παρόλο την αμφίδρομη ανάπτυξη στην τεχνολογία ακόμα και σήμερα κύρια πηγή ενέργειας αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα, δηλαδή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου η κύρια παροχή βρίσκεται σε μεμονωμένες περιοχές πράγμα που τους καθιστά επικίνδυνους σε περίπτωση βλάβης η επίθεσης, αποτελούν κύριο παράγοντα ρύπανσης του περιβάλλοντος και είναι πιθανό να αναδυθούν προβλήματα έλλειψης με το πέρασμα των χρόνων λόγω της υψηλής κατανάλωσης.

Η αναδυόμενη ενεργειακή κρίση άρχισε να αποσπά την παγκόσμια προσοχή με ερευνητικά προγράμματα και οικονομικά πακέτα προκειμένου να γίνει χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ανεμογεννήτριες υδροελητρικά συστήματα, φωτοβολταϊκά πάνελ, γεωθερμικοί σταθμοί και την χρήση βιοκαυσίμων όπως είναι το φυσικό αέριο. [1]

Μία σημαντική αναφορά αποτελεί το “Δίκτυο Πολιτικής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του 21ου αιώνα” REN21 όπου με βάση την τελευταία αναφορά τους το 2016 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνέβαλαν κατά 19,2% την ανθρωπότητα και πλέον αποτελούν το 23,7% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. [2]

Με την ραγδαία άνοδο των τηλεπικοινωνιών άρχισε η αναζήτηση για ένα πιο εκσυγχρονισμένο σύστημα κατανάλωσης και διαμερισμού ρεύματος όπου πλέον έχει οριστεί ως “Έξυπνο Δίκτυο” (Smart Grid) σύμφωνα με τον νόμο ενεργειακής ανεξαρτησίας και ασφάλειας του 2007 (EISA-2007). [3]

Το Έξυπνο Δίκτυο Πλέγματος έχει σκοπό να αντικαταστήσει το τωρινό δίκτυο ενέργειας με αποτελεσματικότερες μεθόδους που είναι συμβατές με ενεργειακές λύσεις του μέλλοντος όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Σχήμα 1 : Πώς η ηλεκτρική ενέργεια φτάνει στο σπίτι μας

## 1.1 Τι Είναι Τα Δίκτυα Πλέγματος

---

Οι τεχνολογίες πλέγματος - Grid, οι οποίες στηρίζονται στο μοντέλο των κατανεμημένων υπολογιστικών συστημάτων (υπολογιστικοί πόροι, όπως υπολογιστική ισχύς, χώροι αποθήκευσης δεδομένων και ψηφιακό περιεχόμενο, που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές, είναι προσβάσιμοι από πολλούς χρήστες), έχουν δώσει νέα ώθηση στις δυνατότητες των ερευνητών για επεξεργασία των πληροφοριών.

Οι ανάγκες για ταυτόχρονη επεξεργασία μεγάλου όγκου επιστημονικών δεδομένων σε διάφορους τομείς της επιστήμης, όπως στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών, οδήγησε πριν από μερικά χρόνια, το 1999, τον Ian Foster καθηγητή πληροφορικής στο Πανεπιστήμιο του Σικάγου, στη σύλληψη της ιδέας του Grid (πλέγμα).

Το Grid στηρίζεται στην αποκέντρωση των υπολογιστικών πόρων χρησιμοποιώντας δίκτυο υψηλών ταχυτήτων που συνδέει μεταξύ άλλων, υπερ-υπολογιστές, βάσεις δεδομένων, υπολογιστικά συστήματα και φυσικά χρήστες. Μια μορφή δηλαδή ενός "παγκόσμιου εικονικού εργαστηρίου". Πολύ γρήγορα, δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς άρχισαν να χρηματοδοτούν έργα για την ανάπτυξη του Grid, το οποίο στηρίζεται ουσιαστικά στην ιδέα των κατανεμημένων υπολογιστικών συστημάτων.

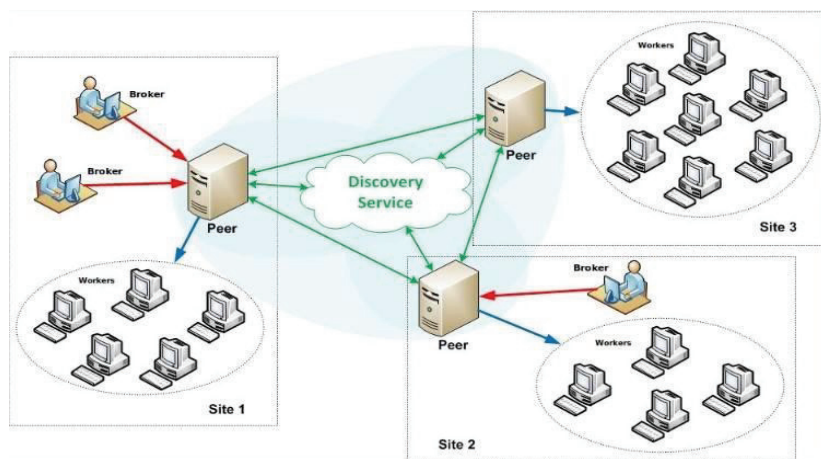
Οι τεχνολογίες πλέγματος - Grid αποτελούν σήμερα την τεχνολογία αιχμής, που επιτρέπει την ομοιόμορφη και ασφαλή από κοινού χρήση και αξιοποίηση υπολογιστικών πόρων. Ουσιαστικά, ένας ερευνητής, που βρίσκεται συνδεδεμένος σε δίκτυο υψηλών ταχυτήτων, με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού, μπορεί να μοιράζεται την υπολογιστική ισχύ, τον αποθηκευτικό χώρο και άλλους πόρους του εργαστηρίου με χιλιάδες άλλους ερευνητές στον κόσμο.

Ο όρος Grid περιλαμβάνει την υποδομή (υλικό-δίκτυα, ενδιάμεσο λογισμικό, εφαρμογές) και τις υπηρεσίες για τη δημιουργία ενός υπολογιστικά ενιαίου (αν και γεωγραφικά κατανεμημένου) περιβάλλοντος. Το πλέγμα διασυνδέει ετερογενή υπολογιστικά περιβάλλοντα, με όμοια ή διαφορετική φιλοσοφία και υπηρεσίες, δημιουργώντας νέες υπηρεσίες με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες και νέους τρόπους αξιοποίησης των ποικίλων διαμοιραζόμενων πόρων.

Το μοντέλο υλοποίησης υπέρ-υπολογιστικών υποδομών βασίζεται στο συνδυασμό προσωπικών υπολογιστών σε συστοιχίες (cluster computing), διασυνδεδεμένων με δίκτυα υπέρ-υψηλών ταχυτήτων. Το κόστος αγοράς, εγκατάστασης, συντήρησης, λειτουργίας και αναβάθμισης είναι χαμηλότερο σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο των υπέρ-υπολογιστών.

Οι τεχνολογίες Grid δημιουργούν προστιθέμενη αξία για τους χρήστες καθώς παρέχουν πρόσβαση σε πόρους που διαφορετικά δεν θα ήταν διαθέσιμοι. Τα Grids κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος των πόρων που διαμοιράζονται όπως για παράδειγμα, τα Data-Grids για διαμοιρασμό μεγάλων όγκων δεδομένων και κατακευματισμένες συλλογές, τα Astro-Grids για διαμοιρασμό πληροφοριών και εικόνων σχετικά με τα άστρα προερχόμενες από τηλεσκόπια και άλλα μέσα. Θεωρούνται από πολλούς ως εκείνη η καταλυτική τεχνολογία που θα οδηγήσει στην επόμενη γενιά του Παγκόσμιου Ιστού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μια από τις σημαντικότερες Ευρωπαϊκές προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση είναι το έργο Data Grid με συντονιστή το CERN (Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών). Στόχος του έργου είναι η δημιουργία ενός Grid δεδομένων και υπολογιστικών συστημάτων, για την επιστημονική αναζήτηση στους κλάδους της Φυσικής Υψηλών Ενεργειών, της Βιολογίας και της Δορυφορικής Τηλεσκοπήσης. [4]



Σχήμα 2 : Δίκτυο Grid

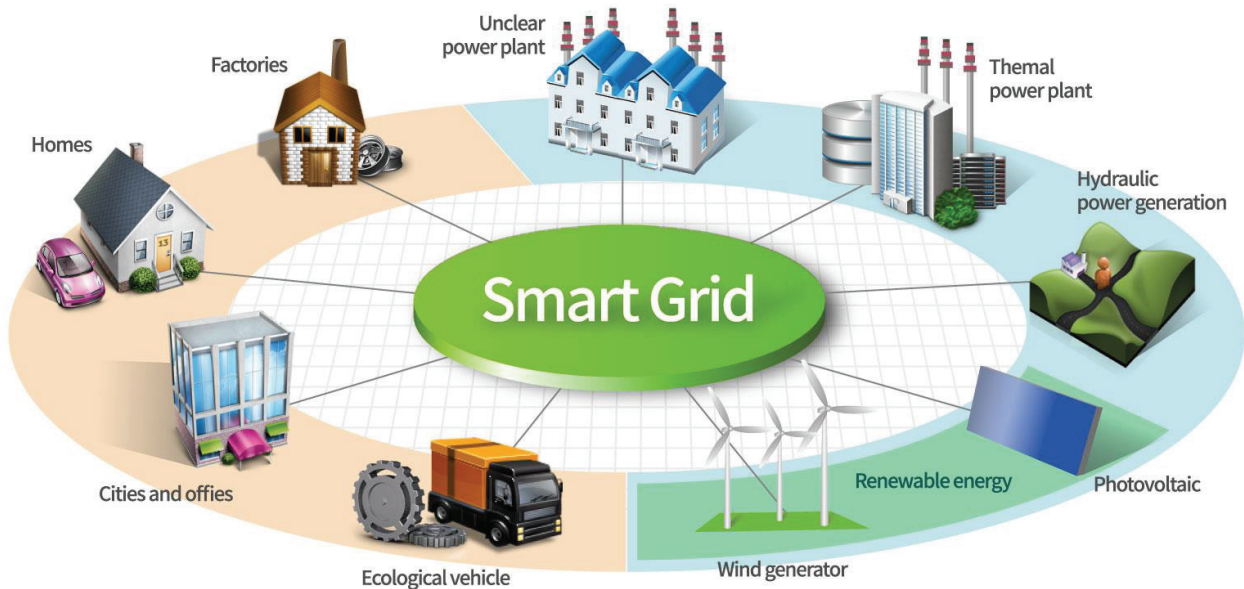
## 1.2 Εισαγωγή Στα Έξυπνα Δίκτυα Πλέγματος

Λόγω του ευρύ φάσματος παραγόντων και των διαφόρων ορισμών που του έχουν αποδοθεί ο όρος Έξυπνο Δίκτυο δεν έχει ακριβή έννοια αλλά συνοπτικά θα μπορούσαμε να το χαρακτηρίσουμε ως ένα πλήρη ψηφιοποιημένο και εκσυγχρονισμένο σύστημα παροχής ενέργειας που εξασφαλίζει ασφαλέστερη και αποδοτικότερη επικοινωνία από άκρο σε άκρο.

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα συνδυασμό λογισμικού και υλικού που επιτρέπει αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνει την δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν την ζήτηση ενέργειας. Η βασική λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου είναι να διανέμει το ηλεκτρικό ρεύμα με οικονομικό τρόπο ανταποκρινόμενο στους περιορισμούς χωρητικότητας και αξιοπιστίας του εξοπλισμού ηλεκτρικής ισχύος και των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος.



Ένα έξυπνο δίκτυο θα αποτελείται από ένα πλήρη αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου κατανάλωσης ενέργειας. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται και επεξεργάζονται από το ενεργειακό πληροφοριακό σύστημα μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία ηλεκτρονικών ενεργειακών προφίλ πελατών. [5]



Σχήμα 3 : Παραγωγή και κατανάλωση μέσα σε ένα έξυπνο δίκτυο πλέγματος

Ο στόχος του ηλεκτρικού δικτύου λοιπόν, είναι φυσικά η σύνδεση όλων των ενεργειακών πελατών, ανεξαρτήτως τόπου και χρόνου, με τις πηγές ενέργειας. Για να γίνει αυτό με το βέλτιστο τρόπο χρειάζεται η δημιουργία ενός εξελιγμένου δικτύου με χρήση σύγχρονων IT τεχνολογιών για τον έλεγχο και τη διαχείριση της ενεργειακής ροής.

Για το λόγο αυτό έχει προβλεφθεί και οργανωθεί η δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου το οποίο στη βέλτιστη λειτουργία του πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα αυτόματης επαναφοράς από ενεργειακές διαταραχές
- Άμεση συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση ζήτησης
- Αυξημένη αντοχή σε βλάβες υποδομών και επικοινωνιών
- Πλήρες αυτόνομο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης
- Δυνατότητα συνεχούς εισαγωγής νέων ψηφιακών υπηρεσιών

Το έξυπνο αυτό δίκτυο (Smart Grid) χρησιμοποιεί μοντέρνα ψηφιακή τεχνολογία και προχωρημένους ICT Αλγορίθμους για τον ευφυή έλεγχο της ροής ενέργειας. Σε συνδυασμό με τα συστήματα έξυπνων μετρητών το δίκτυο εποπτεύει αυτόματα την ενεργειακή κατανάλωση βάση IT διαδικασιών βασισμένα σε ενεργειακές πληροφορίες.

Η μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο θα απαιτήσει την εξέταση και την τροποποίηση πολλών στοιχείων και τεχνολογιών του τρέχοντος ηλεκτρικού δικτύου. Ένα σωστό όραμα θα στόχευε να κατανοήσει τις ιδιαίτερες ανάγκες και τα χαρακτηριστικά αυτού του μελλοντικού δικτύου. Το όραμα θα βοηθήσει, όχι μόνο στο να εντοπιστούν οι διάφορες ανεπάρκειες στο τρέχον ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά επίσης να βοηθήσει να μπουν οι απαιτούμενες βάσεις για τη μετάβαση. [6]

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά και οφέλη που προσφέρουν οι έξυπνοι μετρητές είναι:

1. Αυτο-ίαση, δυνατότητα να ανιχνεύει γρήγορα, να αναλύει, να ανταποκρίνεται και να αποκαθιστά βλάβες και αστοχίες.
2. Ελαστικότητα σε διαταραχές, επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Η ελαστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αντιδρά σε απρόβλεπτα γεγονότα απομονώνοντας προβληματικά στοιχεία, ενώ το υπόλοιπο του συστήματος αποκαθίσταται σε κανονική λειτουργία. Αυτές οι ενέργειες αυτο-ίασης έχουν ως αποτέλεσμα τη μειωμένη διακοπή των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους καταναλωτές και τη βοήθεια στους παρόχους υπηρεσιών να διαχειρίζονται καλύτερα την υποδομή διανομής.
3. Φιλικό προς τον καταναλωτή, δυνατότητα να συμπεριλάβει τον καταναλωτή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για το ηλεκτρικό δίκτυο.
4. Υψηλή αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος, ικανότητα στο να παρέχει συνεχόμενη ισχύ ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες του καταναλωτή.
5. Αντοχή από επιθέσεις κυβερνοχώρου, δυνατότητα θωράκισης και προστασίας του συστήματος από τυχόν επιθέσεις κυβερνοχώρου.
6. Φιλοξενεί όλα τα είδη ενέργειας και επιλογές αποθήκευσης, δυνατότητα προσαρμογής κατανεμημένης παραγωγής (π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) και συσκευές αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται για να συμπληρώνουν τις μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
7. Βελτιστοποίηση κεφαλαίου, δυνατότητα παρακολούθησης και βελτιστοποίησης της επένδυσης με την ελαχιστοποίηση των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης.
8. Άνοιγμα αγορών προσφέροντας νέες επιλογές στον καταναλωτή, όπως προϊόντα πράσινης ενέργειας και τις νέες γενιές των ηλεκτρικών οχημάτων, που οδηγούν σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

## 1.3 Έξυπνο Δίκτυο Και Τεχνολογίες Επικοινωνιών

---

Το επικοινωνιακό σύστημα αποτελεί το βασικό στοιχείο για μια υποδομή έξυπνου δικτύου. Με την άφιξη των έξυπνων δικτύων, τα συστήματα διανομής έχει αλλάξει δραματικά. Όπως αναγνωρίζεται από τους μεγάλους φορείς της βιομηχανίας, τα δίκτυα διανομής βρίσκονται υπό υψηλή πίεση για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις μετατροπής των συμβατικών στατικών δικτύων σε σύγχρονα και δυναμικά έξυπνα δίκτυα. Συγκεκριμένα, η αυξανόμενη εμφάνιση αποκεντρωμένης παραγωγής (DER) επηρεάζει αυτήν την τάση, καθώς και την ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας και της αξιοπιστίας τόσο στα δίκτυα MT όσο και στα δίκτυα LV.

Λόγω αυτής της αλλαγής, υπάρχουν νέες απαιτήσεις για την αυτοματοποίηση, την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την προστασία των υποσταθμών διανομής και κέντρων μετασχηματιστών. Αυτός ο "έξτρα" αυτοματισμός ονομάζεται Advanced Automation Distribution (ADA). Ο στόχος του ADA είναι η προσαρμογή του συστήματος διανομής σε πραγματικό χρόνο μεταβάλλοντας τα φορτία, χωρίς άμεση παρέμβαση του χειριστή, προκειμένου να βελτιωθεί δραματικά η αξιοπιστία, η ποιότητα και η αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Η έξυπνη δομή του δικτύου επικοινωνίας αποτελείται ουσιαστικά από τέσσερις τομείς: το backbone, τον τομέα μεσαίων μιλίων (middle-mile) ή backhaul, τον τομέα τελευταίων μιλίων (last-mile) και το δίκτυο τροφοδοσίας. Το backbone αποτελεί ένα μέρος του δικτύου υπολογιστών που διασυνδέει διάφορα τμήματα του δικτύου παρέχοντας, μια διαδρομή για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών LAN ή υποδικτύων [7]. Τα περισσότερα δίκτυα διανομής μπορούν να χωριστούν σε στρώμα ραχοκοκαλιάς (backbone) και στρώμα πρόσβασης (access layer). Το στρώμα backbone που φέρει το δίκτυο SDH χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση της κυκλοφορίας. Καθώς η αυτοματοποίηση διανομής και η αυτοματοποίηση μέτρησης διατηρούν την ταχεία ανάπτυξη της κλίμακας, αυτό το παραδοσιακό μοντέλο δικτύωσης θα έχει μεγάλο αντίκτυπο με το δίκτυο SDH που χρησιμοποιείται κυρίως για την ηλεκτρική επικοινωνία σε υψηλό επίπεδο ασφάλειας [8].

Το μεσαίο μίλι, αναφέρεται ως δίκτυο ευρείας ζώνης (WAN), συνδέει τους συγκεντρωτές δεδομένων στην AMI με τα κέντρα αυτοματισμού υποσταθμών διανομής και τα κέντρα ελέγχου που σχετίζονται με τη λειτουργία των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. [9] Προκειμένου να αποκομιστούν σημαντικά οφέλη σε ένα έξυπνο δίκτυο, η αξιοπιστία και η ασφάλεια του δικτύου επικοινωνίας αποτελεί ένα από τα πιο απαιτητικά καθήκοντα των φορέων εκμετάλλευσης κοινής ωφελείας.

Ένα AMI backhaul αποτελείται από:

- Μεμονωμένους μετρητές που συνδέονται με τοπικά σημεία συλλογής.
- Τοπικά σημεία συλλογής δεδομένων.
- Σημεία συσσωμάτωσης δεδομένων τα οποία επιστρέφονται στη συνέχεια στο κέντρο λειτουργιών δικτύου του βοηθητικού προγράμματος. [10]

Η υποδομή επικοινωνίας τελευταίου μιλίου του έξυπνου δικτύου είναι ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας που επικαλύπτεται γενικά πάνω από το σύστημα διανομής ενέργειας το οποίο, επιτρέπει λειτουργίες όπως: προηγμένες υπηρεσίες μέτρησης, αυτοματοποίηση διανομής και αυτοματοποίηση υποσταθμών. Οι υποκείμενες υποδομές επικοινωνίας είναι: το δίκτυο περιοχής γειτονιάς (NAN), τα δίκτυα περιοχής πεδίου (FAN) και η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI), ανάλογα με τις συσκευές που διασυνδέει και τις υποστηριζόμενες εφαρμογές. Για παράδειγμα, τα FAN χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση υποσταθμών διανομής τροφοδοτικού, μετασχηματιστή και DER μικροπλέγματος, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής αποθήκευσης κλίμακας χρησιμότητας, στο κέντρο ελέγχου και λειτουργίας του βοηθητικού δικτύου. Εκτός από αυτά τα συστήματα, τα NAN περιλαμβάνουν επίσης έξυπνους μετρητές σε νοικοκυριά, βιομηχανίες και επιχειρήσεις. Ομοίως, τα AMI μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά με τα NAN, αλλά μόνο για τη διασύνδεση έξυπνων μετρητών με συστήματα back-office.

Τα δίκτυα τελευταίου μιλίου, DER και άλλα δίκτυα υποσταθμών διανομής αλληλοσυνδέονται με τον έλεγχο χρησιμότητας και τις λειτουργίες του μέσω του δικτύου backhaul. Αυτό το δίκτυο μπορεί να ανήκει και να διαχειρίζεται από ένα βοηθητικό πρόγραμμα ή από ένα τρίτο μέρος όπως, ένας πάροχος δημόσιων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Συνήθως, τα δίκτυα τελευταίου μιλίου έχουν πρόσβαση σε περισσότερα από ένα δίκτυα backhaul. Τα δίκτυα Backhaul μπορούν να χρησιμοποιούν ενσύρματες ή ασύρματες τεχνολογίες και να επιτρέπουν τη συγκέντρωση και τη μεταφορά δεδομένων τηλεμετρίας έξυπνου δικτύου που σχετίζονται με τον πελάτη, δεδομένων κρίσιμων λειτουργιών αυτοματισμού υποσταθμών, σχετικών δεδομένων πεδίων DER μικροπλέγματος και πληροφοριών κινητού εργατικού δυναμικού.

Η τελευταία σχετική υποδομή επικοινωνίας που υποστηρίζει τις λειτουργίες διανομής ενέργειας και τα DER είναι το δίκτυο τροφοδοσίας. Αυτό το δίκτυο βοηθά στην ανταλλαγή πληροφοριών με συσκευές πεδίου και IED που διανέμονται κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, των υποσταθμών και των κέντρων μετασχηματιστών. Μπορεί να θεωρηθεί ως επικάλυψη στο ηλεκτρικό δίκτυο και μπορεί να χρησιμοποιεί ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας. [11]

## 1.3.1 Αρχιτεκτονικές Και Τεχνολογίες Επικοινωνιών

---

Η αυτοματοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου μετάδοσης απαιτεί τη χρήση ειδικών συστημάτων και τεχνολογιών για τον έλεγχο της. Ορισμένα από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ήδη και είναι θεμελιώδη για τις επικοινωνίες του δικτύου μεταφοράς:

**Τα συστήματα διαχείρισης διανομής (DMS)** είναι μια σειρά εφαρμογών για την πλήρη παρακολούθηση και έλεγχο ολόκληρου του δικτύου διανομής και οι οποίες καθίστανται όλο και πιο σημαντικές με την εμφάνιση ευφυών δικτύων. Αυτά συμπληρώνονται από συστήματα SCADA και EMS, τα οποία παρέχουν λειτουργίες όπως: μη εξισορροπημένο έλεγχο ροής ισχύος, εκτίμηση κατάστασης διανομής, ολοκληρωμένο έλεγχο, αναγνώριση σφαλμάτων και αποκατάσταση υπηρεσιών. Συνολικά, παρέχουν τα μέσα για τη βελτίωση των λειτουργιών διαχείρισης του δικτύου και επιτρέπουν στους φορείς εκμετάλλευσης να είναι σε θέση να λειτουργούν και να βελτιστοποιούνται σε πραγματικό χρόνο.

**Τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS)** χρησιμοποιούνται για την αξιόπιστη και αποδοτική ανάλυση και λειτουργία του συστήματος ισχύος μετάδοσης. Οι χειριστές που χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα μπορούν να εποπτεύουν την τοπολογία του δικτύου, τη συνδεσιμότητα και τις συνθήκες φορτίου (συμπεριλαμβανομένων των διακοπών, των καταστάσεων των διακοπών και της κατάστασης του εξοπλισμού ελέγχου).

**Τα συστήματα εποπτείας και λήψης δεδομένων (SCADA)** αλληλεπιδρούν με κάθε υποσταθμό και ολόκληρου του δικτύου. Αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται την αλλαγή, την παρακολούθηση και τον έλεγχο αυτών των υποσταθμών. Το SCADA / EMS παρακολουθεί την κατάσταση όλων των διακοπών, δημιουργώντας διαμορφώσεις τοπολογίας κλάδου του συστήματος ισχύος επιτρέποντας τον βέλτιστο υπολογισμό της ροής ισχύος, την εκτίμηση κατάστασης, την ανάλυση έκτακτης ανάγκης, τον προγραμματισμό διακοπών, την επεξεργασία συναγερμών κλπ. Επιπλέον, τα συστήματα SCADA / EMS παρακολουθούν επίσης την τεχνολογία μέτρησης υποσταθμών, για την ανάκτηση δεδομένων σχετικά με τα ρεύματα και τα επίπεδα τάσης στους υποσταθμούς.

Εκτός από αυτές τις τεχνολογίες, τα έξυπνα δίκτυα θα φέρουν μια ολόκληρη σειρά νέων ειδικών εφαρμογών, συστημάτων και τεχνολογιών που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση του δικτύου μετάδοσης. Οι πιο σχετικές περιπτώσεις είναι οι τεχνολογίες συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC), μονάδες μέτρησης φακέλου (PMU), τεχνολογίες δυναμικής διαβάθμισης (DLR) και τεχνολογίας WMS (Wide Area Measurement System), οι οποίες αποτελούνται από:

**Τα συστήματα μετάδοσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC)** χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα για τη μαζική μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίθεση με τα κοινά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος. Για τις μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων, τα συστήματα HVDC μπορεί να είναι λιγότερο δαπανηρά και θα υποστούν λιγότερες ηλεκτρικές απώλειες.

**To Dynamic Line Rating (DLR)** χρησιμοποιεί τους αισθητήρες για να προσδιορίσει την πραγματική ικανότητα μεταφοράς ενός τμήματος του δικτύου σε πραγματικό χρόνο για να βελτιστοποιήσει τη χρήση των υφιστάμενων στοιχείων μετάδοσης χωρίς τον κίνδυνο πρόκλησης υπερφόρτωσης.

**Οι Μονάδες μέτρησης Phasor (PMU)** είναι συσκευές που παρέχουν μετρήσεις υψηλής ποιότητας των γωνιών και των συχνοτήτων του διαύλου χρησιμοποιώντας μια κοινή πηγή ώρας για συγχρονισμό. Τα PMU μπορούν να είναι αυτόνομα συστήματα, μέρος προστατευτικού ρελέ ή άλλης συσκευής σε υποσταθμό. Είναι ικανά να ανιχνεύουν νωρίς τα σφάλματα αυξάνοντας την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την απόρριψη φορτίων και άλλες τεχνικές ελέγχου φορτίου. Οι μονάδες PMU θεωρούνται αρχική πηγή δεδομένων για εφαρμογές WAMS, απαραίτητες σε περιφερειακά δίκτυα μεταφοράς και τοπικά δίκτυα διανομής.

**Το σύστημα μέτρησης ευρείας περιοχής (WAMS)** χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες μέτρησης για την παρακολούθηση και τον έλεγχο μεγάλων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομη υποδομή ή συμπληρώνοντας άλλα συμβατικά συστήματα εποπτείας, όπως το SCADA / EMS. [11]

### 1.3.2 Προϋποθέσεις Για Το Σύστημα Επικοινωνιών

---

Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) είναι η περιγραφή της συνολικής απόδοσης μιας υπηρεσίας, όπως είναι η τηλεφωνία ή το δίκτυο υπολογιστών ή η υπηρεσία Cloud computing, και ιδιαίτερα η απόδοση που βλέπουν οι χρήστες του δικτύου. Στον τομέα της δικτύωσης ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων δικτύων τηλεπικοινωνιών με μεταγωγή πακέτων, η ποιότητα της υπηρεσίας αναφέρεται στους μηχανισμούς ελέγχου της προτεραιότητας της κυκλοφορίας και των μηχανισμών ελέγχου της διατήρησης πόρων. Στο έξυπνο δίκτυο, μια βασική πρόκληση είναι ο τρόπος προσαρμογής του δικτύου επικοινωνιών στο πλαίσιο της μετάδοσης της τιμής ενέργειας. Προφανώς, η ροή δεδομένων της τιμής ενέργειας δεν μπορεί να είναι ελαστική δεδομένου ότι πρέπει να είναι σε πραγματικό χρόνο. διαφορετικά, ενδέχεται να προκύψει σημαντική απώλεια εάν χρησιμοποιηθεί η ισχύς ισχύος που έχει λήξει. Επομένως, η μετάδοση της τιμής ισχύος πρέπει να είναι εφοδιασμένη με εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας (QoS). [12] Μια απαίτηση QoS συνήθως περιλαμβάνει προδιαγραφές όπως delay, jitter και πιθανότητα διακοπής σύνδεσης. Για την εξαγωγή της απαίτησης QoS, πρέπει να αναλυθούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

#### **Υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα:**

Είναι τυπικές απαιτήσεις για σχεδόν κάθε σύστημα επικοινωνίας. Επειδή ένας μεγάλος αριθμός συσκευών θα διασυνδεθεί και θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας, εξασφαλίζοντας ότι η αξιοπιστία ενός τόσο ανομοιογενούς και μεγάλου δικτύου δεν είναι μια τετριμμένη περίπτωση.



Επιπλέον, οι κόμβοι πρέπει να είναι προσβάσιμοι υπό οποιοσδήποτε συνθήκες. Παρόλο που αυτό συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα σε ένα ενσύρματο δίκτυο, μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για τις ασύρματες ή powerline υποδομές, επειδή τα κανάλια επικοινωνίας μπορούν να αλλάξουν κατά τη λειτουργία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση των συστημάτων powerline, μια τέτοια αλλαγή μπορεί να εισαχθεί στη διαχείριση του δικτύου διανομής που εξισορροπεί την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά στο επίπεδο μέσης τάσης.

### **Αυτόματη διαχείριση απόλυσης:**

Είναι στενά συνδεδεμένη με την προηγούμενη κατάσταση. Επειδή ορισμένες εφαρμογές είναι κρίσιμες για το χρόνο, οι ιδιότητες δικτύου σε πραγματικό χρόνο πρέπει να διατηρούνται ακόμη και σε αλλαγές τοπολογίας. Αυτές οι αλλαγές δεν πρέπει να θεωρούνται ως έκτακτες καταστάσεις που οφείλονται σε συνθήκες σφάλματος αλλά εμφανίζονται κατά την κανονική λειτουργία.

### **Υψηλή κάλυψη και αποστάσεις:**

Οι κόμβοι που θα συνδεθούν μέσω του δικτύου επικοινωνιών κατανέμονται σε ευρεία περιοχή. Το σύστημα επικοινωνίας πρέπει επομένως να είναι ευρέως διαθέσιμο και ικανό να προσφέρει μεγάλη κάλυψη.

### **Μεγάλος αριθμός κόμβων επικοινωνίας:**

Υποθέτοντας ότι έχει συνδεθεί μόνο ένας μετρητής ενέργειας ανά καταναλωτή, ένας πρωτεύων σταθμός μπορεί να παρέχει έως και δεκάδες χιλιάδες κόμβους, ειδικά σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πολυκατοικιών. Παρόλο που τα πακέτα εντολών και δεδομένων είναι συνήθως μικρά, ο συνολικός όγκος των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν στο δίκτυο είναι σημαντικός και τα γενικά έξοδα επικοινωνίας μπορεί να αποτελέσουν πρόβλημα.

### **Κατάλληλη καθυστέρηση επικοινωνίας και απόκριση συστήματος:**

Η διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών πρέπει να φροντίζει για διάφορες κατηγορίες δεδομένων, όπως δεδομένα μετρήσεων, στοιχεία ελέγχου ή συναγερμού. Το σύστημα επικοινωνίας πρέπει να υποστηρίζει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας για κάθε εφαρμογή. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα κρίσιμα δεδομένα, τα οποία πρέπει να παραδοθούν αμέσως. Έτσι, μπορεί να είναι απαραίτητο να προβλεφθεί ένα κανάλι εκπομπής για ταχείες εκδηλώσεις, όπως πληροφορίες κατάστασης δικτύου ή συναγερμοί από μετρητές έως σημείο ελέγχου.

### **Ασφάλεια επικοινωνίας:**

Τα δεδομένα που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας θεωρούνται κρίσιμα, ιδιαίτερα όταν σχετίζονται με την τιμολόγηση ή τον έλεγχο του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η ασφαλής επικοινωνία είναι σημαντική. Η έρευνα μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας έχει δείξει ότι η ακεραιότητα και η αυθεντικότητα είναι οι σημαντικότεροι στόχοι για την ασφάλεια των δικτύων διανομής, ενώ η ιδιωτικότητα δεν θεωρείται πρωταρχικό ζήτημα.

### Ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης:

Για κάθε καταναμημένο σύστημα επικοινωνίας, πρέπει να προβλεφθούν μηχανισμοί που θα διευκολύνουν όχι μόνο την αρχική εγκατάσταση, αλλά κυρίως τη συντήρηση της υποδομής κατά τη λειτουργία. Χαρακτηριστικά όπως η ανίχνευση σφαλμάτων και η ανάλυση κατάστασης σφαλμάτων, η εύκολη ενημέρωση για επιχειρήσεις και λογισμικό και η απομακρυσμένη διαμόρφωση είναι απαραίτητες. [13]

## 1.4 Προκλήσεις Και Ανάγκες

---

Η επιστημονική κοινότητα χαρακτηρίζει τα έξυπνα δίκτυα πλέγματος ως την μεγαλύτερη ανακάλυψη σε θέματα πληροφορικής μετά από το internet. Ωστόσο ως μια νέα αναπτυσσόμενη τεχνολογία αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις και προβλήματα τα οποία πρέπει να λαβούν υπόψη προκειμένου το υψηλό αυτό δίκτυο να λειτουργήσει σωστά. Παρακάτω θα αναλύσουμε μερικές από τα βασικότερες προκλήσεις και ανάγκες που αντιμετωπίζουν τα έξυπνα δίκτυα δίνοντας μια μεγαλύτερη έμφαση στον τομέα της ασφάλειας.

### 1.4.1 Προκλήσεις Αγοράς Και Επενδύσεων

---

Η αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου με νέους έξυπνους τρόπους εξοικονόμησης μπορεί να φαντάζει η τέλεια λύση εξυγχρονισμού του υπάρχοντος δικτύου ρεύματος ωστόσο ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός τέτοιου δικτύου καθώς και άλλα ζητήματα αποτελούν σημαντικές προκλήσεις για να θεωρηθεί αποτελεσματικό ένα έξυπνο δίκτυο πλέγματος. Η εφαρμογή συστημάτων έξυπνων μετρητών στην αγορά συνεπάγεται σε επενδύσεις δισεκατομμυρίων δολαρίων για την ανάπτυξη και την συντήρηση τους. Έτσι μια τέτοια επένδυση θα πρέπει να λάβει υπόψιν την προβλεπόμενη ζήτηση της ενεργειακής αγοράς πράγμα που δικαιολογεί τις καθυστερήσεις και τους διχασμούς για ένα τόσο μεγάλο σχέδιο όπως είναι η επανασχεδίαση του τρόπου κατανάλωσης τους ρεύματος. Αρχικά η διαδικασία αντικατάστασης των υφιστάμενων μετρητών ενέργειας με νέους έξυπνους μετρητές αποτελεί μεγάλη πρόκληση για εταιρίες κοινής ωφέλειας λόγω έλλειψης κατάλληλων υποδομών για τον εξυγχρονισμό του δικτύου σε αυτό μιας νέας γενιάς.

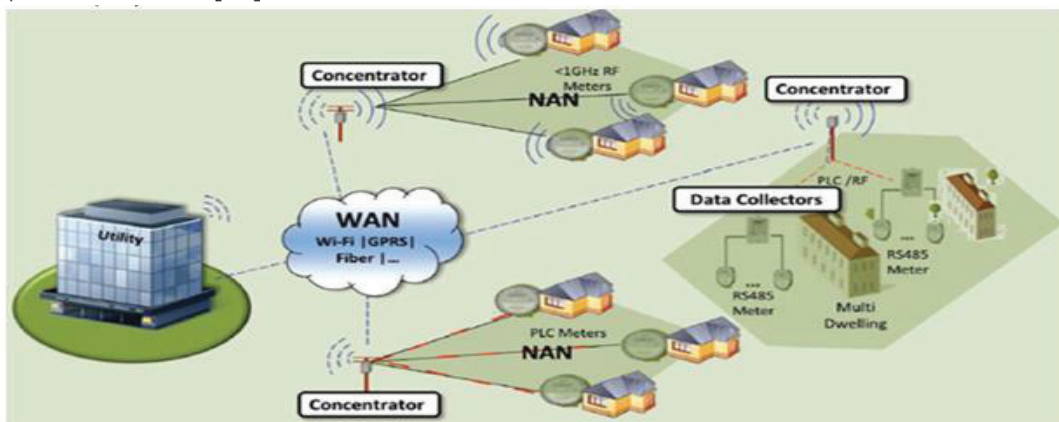
Παρόλο που πολλές συσκευές όπως (smartphones, tablets, personal computers) μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο έξυπνο δίκτυο γεγονός παραμένει ότι για να λειτουργήσουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους θα πρέπει να είναι συμβατές με ένα ολοκληρωμένο δίκτυο επικοινωνίας. Ταυτόχρονα η ενσωμάτωση των συσκευών γίνεται ακόμα πιο περίπλοκη με την αύξηση του αριθμού πελατών. [14]



## 1.4.2 Αναπτυσσόμενη Τεχνολογία Και Ευελιξία

Ο προσδιορισμός του τρόπου επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων συσκευών προκειμένου το δίκτυο να είναι αποδοτικό αλλά και οικονομικό αποτελεί μεγάλη πρόκληση στον σχεδιασμό του. Έχοντας ως κριτήριο την γεωγραφική περιοχή, τα τοπικά πρότυπα και την ποιότητα των υποδομών του δικτύου οι λύσεις είναι ποικίλες και βασίζονται σε πολυάριθμες τεχνολογίες επικοινωνίας οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Βασικοί τύποι δικτύων συμβατοί με τεχνολογίες έξυπνων δικτύων αποτελούν:

- Το **HAN** (Home Area Network) και **BAN** (Building Area Network) τα οποία χρησιμοποιούν ασύρματα πρότυπα μικρής εμβέλειας, όπως είναι το ZigBee, Thread, WiFi και Bluetooth για τη σύνδεση οικιακών συσκευών με έξυπνους μετρητές. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν PLC (Power Line Carrier) για ενσύρματη επικοινωνία.
- Το **NAN** (Neighborhood Area Network) χρησιμοποιεί είτε τοπολογία δικτύου αστερισμού όπως τα κυτταρικά M2M (GPRS, 3G, LTE MTC, NB-IoT, LPWAN) για τη σύνδεση κάθε μετρητή απευθείας με την βάση ή ενός δικτύου πλέγματος όπως ένα (PLC ή 802.15.4g) για να συγκεντρώσει όλες τις πληροφορίες από τους έξυπνους μετρητές σε ένα DAP (Data Aggregation Point) που θα συνδέεται άμεσα με το σταθμό βάσης με κυτταρική M2M (GPRS, 3G, LTE MTC) ή απευθείας στο σύννεφο μέσω Ethernet. [15]



Σχήμα 4 : Επικοινωνία παρόχου με το έξυπνο δίκτυο

Όπως παρατηρούμε η δυνατότητα ευελιξίας του δικτύου να υποστηρίξει τέτοιες προδιαγραφές καθιστάτε απαραίτητη προκειμένου να υποστηριχθεί ένα έξυπνο δίκτυο πλέγματος. Επίσης πολλές από τις τεχνολογίες επικοινωνίας βρίσκονται ακόμα σε ανάπτυξη πράγμα που θα συνέβαλε σε συνεχής ενημερώσεις εξ' αποστάσεως μέχρι το δίκτυο να θεωρηθεί αποτελεσματικό και κατάλληλο για χρήση. Η επικοινωνία με PLC για παράδειγμα έχει τυποποιηθεί από πολλούς οργανισμούς όπως η IEEE P1901.2, PRIME και η G3 οι οποίες προσφέρουν πολλαπλές παραλλαγές όσον αφορά την ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων και το εύρος ζώνης συχνοτήτων.

Το ηλεκτρικό δίκτυο της κάθε χώρας παίζει επίσης μεγάλο ρόλο και πρέπει να ληφθεί υπόψη προκειμένου το δίκτυο να θεωρηθεί βέλτιστο για κατανάλωση. Η υποστήριξη Multi-Mode είναι επίσης υποχρεωτική μιας και για τις περισσότερες περιπτώσεις χρήσης η δυνατότητα πολλαπλών λειτουργιών να τρέχουν ταυτόχρονα κρίνεται απαραίτητη. Επιπλέον υπάρχουν λύσεις επικοινωνίας όπως τα hardware-based modems είναι ακατάλληλα λόγω ότι δεν μπορούν να αναβαθμιστούν ώστε να υποστηρίξουν τα νέα πρότυπα επικοινωνίας που απαιτούνται. Η χρήση SDM (Software Defined Modems) αποκατασταθεί αυτό το πρόβλημα με χαμηλές ενεργειακές λύσεις και κόστος. Αυτά τα μόντεμ πρέπει να λειτουργούν σε ένα ενιαίο υψηλό επεξεργαστή απόδοσης με δυνατότητα να τρέχει πολλαπλά PHYs και πρωτόκολλα με μια πραγματική RTOS προκειμένου να υπάρχει συγχρονισμός ελαχιστοποιώντας τις εναλλαγές εργασιών και τις καθυστερήσεις από MAC σε PHY.

### 1.4.3 Προβλήματα Ασφάλειας Και Προστασίας Δεδομένων

Το Smart Grid είναι μια πολύπλοκη υποδομή που καλύπτει ένα αυξανόμενο αριθμό ετερογενών ηλεκτρονικών κόμβων, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, αισθητήρων δικτύου οικιακής περιοχής (HAN) και άλλων ευφυών ηλεκτρικών συσκευών. Αυτοί οι κόμβοι επικοινωνούν μέσω διαφόρων δικτύων όπως (HAN, NAN, FAN, WAN) και πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών επικοινωνίας. Όπως όλα τα δίκτυα επικοινωνίας έτσι και στα έξυπνα δίκτυα η ασφάλεια αποτελεί βασική πρόκληση για την εξασφάλιση της επικοινωνίας για κάθε διεπαφή που εμπλέκεται στην επικοινωνία με τους άλλους κόμβους του δικτύου. Οι πληροφορίες είναι κρίσιμες και προσωπικές που αυξάνουν τις ευπάθειες των Smart Grids. Επίσης, το Smart Grid έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως (χρονικούς περιορισμούς, ρυθμό δεδομένων κ.λπ.). Είναι ευάλωτο σε κακόβουλες επιθέσεις οι οποίες μπορούν να παρεμποδίσουν σοβαρά την εκτεταμένη ανάπτυξή της. [16] Πολλά ερευνητικά έργα έχουν δείξει το ενδιαφέρον τους στον εντοπισμό τέτοιων επιθέσεων ταξινομώντας τα σε 4 βασικούς τύπους επιθέσεων:

**-Denial Of Service (DoS)** είναι οι επιθέσεις που στοχεύουν στην διαθεσιμότητα. Έχουν αντίκτυπο στις επιδώσεις των συσκευών και του δικτύου λόγω ότι σε ορισμένες λειτουργίες των έξυπνων δικτύων πλέγματος απαιτούνται συγκεκριμένες καθυστερήσεις. Για παράδειγμα ο επιτιθέμενος Bob αρνείται στην πηγή Alice την πρόσβαση στον προορισμό Mary (Άρνηση παροχής υπηρεσιών).

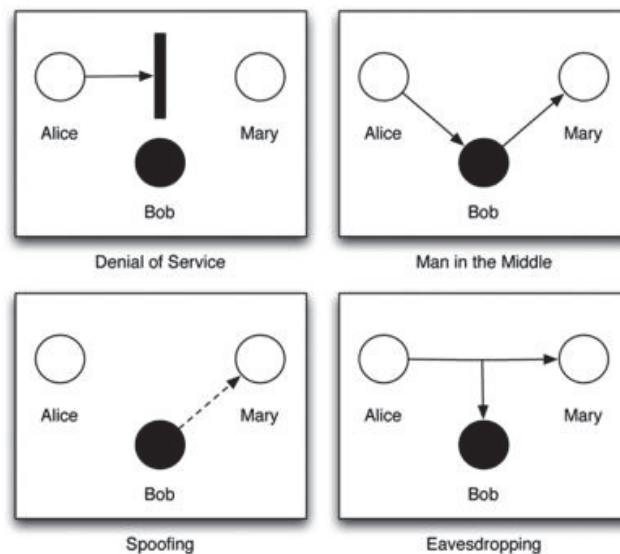
**-Man In The Middle** αλλιώς και ως επιθέσεις ενδιάμεσου ανήκουν στην κλάση επιθέσεων όπου οι κακόβουλοι εισέρχονται μέσα στη διαδρομή επικοινωνίας ανάμεσα σε δυο επικοινωνούσες οντότητες. Κατά την επίθεση ενδιάμεσου, ο κακόβουλος δεν έχει απλώς την δυνατότητα να απορροφήσει όλα τα πακέτα που ανταλλάσσονται ανάμεσα σε δυο οντότητες, αλλά μπορεί επίσης να εισάγει, να τροποποιήσει ή να διαγράψει πακέτα. Για παράδειγμα ο Bob προσποιείται τη Mary συνεπώς λαμβάνει όλα τα μηνύματα από την Alice στη Mary. Ο Bob μπορεί να αλλάξει τα μηνύματα και να τα προωθήσει τροποποιημένα στη Mary. [17]

-**Spoofing** είναι ένας τύπος παραβίασης σε δίκτυο υπολογιστών το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο ARP. Ο κακόβουλος χρήστης μπορεί, μεταδίδοντας λανθασμένα πακέτα ARP, να μπερδέψει άλλους host ώστε να στείλουν τα πλαίσια δεδομένων τους σε άλλον υπολογιστή χωρίς να το αντιληφθούν. Μπορεί τότε να παρακολουθήσει την επικοινωνία μεταξύ:

- δύο host
- ενός host και ενός υποδικτύου
- ενός host και του Διαδικτύου
- οποιοδήποτε συνδυασμό των παραπάνω παραβιάσεων

Έχει επίσης την δυνατότητα να αποκλείσει έναν host από ένα δίκτυο. Για παράδειγμα ο Bob πλαστοπροσωπεί ως Alice, έτσι ώστε να μπορεί να δημιουργήσει και να στείλει μηνύματα στη Mary. [18]

-**Eavesdropping** είναι οι επιθέσεις όπου ο επιτιθέμενος παρακολουθεί ένα ασύρματο δίκτυο με σκοπό την καταγραφή των εκπεμπόμενων δεδομένων με στόχο την εκ των υστέρων αποκωδικοποίησή τους. Για παράδειγμα ο Bob λαμβάνει όλα τα μηνύματα που στέλνονται από την Alice στη Mary αν και Alice και Mary δεν το γνωρίζουν. [19]



Σχήμα 5 : Οι τέσσερις βασικοί τύποι επιθέσεων

Επίσης την ασφάλεια πληροφοριακών συστημάτων μπορούμε να την κατηγοριοποιήσουμε σε τρεις βασικές ιδέες:

Οι επιθέσεις στην **ακεραιότητα** προσπαθούν να αλλάξουν ή να διαγράψουν τα δεδομένα του κυκλοφοριακού δικτύου.

Επιθέσεις **διαθεσιμότητας** οι οποίες στοχεύουν στην χρήση πόρων του έξυπνου δικτύου

προκειμένου να βγάλουν μια ηλεκτρονική υπηρεσία μη διαθέσιμη.

Οι επιθέσεις **εμπιστευτικότητας** στοχεύουν στην διαρροή ευαίσθητων πληροφοριών χρηστών αναλύοντας το δίκτυο κίνησης. [20]

Σε αυτές τις ταξινομήσεις όμως δεν έχουμε λάβει υπόψη τον τύπο του δικτύου όπου εμπλέκεται ο κόμβος. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι επιθέσεις που στοχεύουν στην εμπιστευτικότητα έχουν μεγαλύτερη επίπτωση στο απόρρητο όταν στόχος της επίθεσης είναι ένα HAN ενώ το NAN είναι πιο ευάλωτο σε επιθέσεις τροποποιήσεων. Επιπλέον, άλλοι κρίσιμοι κόμβοι όπως (PMU, Concentrator) είναι ευάλωτοι σε επιθέσεις οι οποίες μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις σε ολόκληρο το δίκτυο. Γι' αυτό το λόγω προτείνετε μια νέα ταξινόμηση για επιθέσεις σε Έξυπνα Δίκτυα. Βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση αποτελούν:

**Ο τύπος του κόμβου** : Λόγω της ετερογένειας των κόμβων που εμπλέκονται στα Smart Grid και των επιθέσεων που τους σχετίζουν τα διακρίνουμε σε δυο τύπους κόμβων: *Εξαρτημάτων* όπως Έξυπνος μετρητής, Phasor, Μονάδων μετρήσεων (PMU), συνδεδεμένα ηλεκτρονικά οχήματα (PHEV) και άλλα. *Συστημάτων* όπως Συστήματα διαχείρισης καταναμημένων (DMS), υποδομές προηγμένων μετρήσεων (AMI) και άλλα.

**Η θέση του κόμβου** : Τα έξυπνα δίκτυα πλέγματος καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και μπορούν να ενσωματώσουν πολλούς τύπους δικτύων όπως (HAN, NAN, FAN) και η κάθε επικοινωνία μεταξύ των κόμβων στο ίδιο δίκτυο μπορεί να έχει παρόμοια χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Κάθε ένα από αυτά τα δίκτυα έχει συγκεκριμένα ζητήματα και απαιτήσεις όσο αφορά την ασφάλεια τους. [21]

Με βάση αυτά τα κριτήρια κατηγοριοποιούμε τις επιθέσεις σε τρεις ομάδες (Συσκευών, Συστημάτων, Δικτύων).

### Επιθέσεις Συσκευών

Μια επίθεση σε έξυπνα δίκτυα πλέγματος μπορεί να έχει ως στόχο διάφορους τύπους συσκευών όπως (έξυπνους μετρητές, PHEV) και άλλες αυτοματοποιημένες συσκευές του δικτύου. Πολλοί περιορισμοί συσκευών που ανήκουν σε ένα έξυπνο δίκτυο όπως περιορισμένο εύρος ζώνης, μνήμης και διακοπτόμενες συνδέσεις αυξάνουν τα ζητήματα ασφαλείας.

Οι επιθέσεις εμπλοκής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποτρέψουν σε ένα μετρητή να επικοινωνήσει με άλλους κόμβους. Επιπλέον ένας μη εξουσιοδοτημένος κόμβος έχει την δυνατότητα παρακολούθησης και ανίχνευσης για ευαίσθητες πληροφορίες όπως το ενεργειακό πλάνο του χρήστη, την ενεργειακή κατανάλωση, τον λογαριασμό ενέργειας και τις οικιακές συσκευές που είναι συνδεδεμένες με τον έξυπνο μετρητή. Επίσης ένας εισβολέας έχει την δυνατότητα να στείλει ψευδή δεδομένα με την αποστολή ενός σφάλματος στο σύστημα ελέγχου.

Μια σημαντική δυνατότητα των έξυπνων μετρητών αποτελεί η “Απομακρυσμένη Σύνδεση & Αποσύνδεση (RCD)” η οποία, επιτρέπει την σύνδεση σε έναν έξυπνο μετρητή και την παροχή ενέργειας έπειτα από μια εργασία συντήρησης ή πληρωμής λογαριασμού. Αυτή η λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το τεχνικό προσωπικό ή ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου προκειμένου να τερματίσει την λειτουργία ενός έξυπνου μετρητή σε περίπτωση που ένας πελάτης βρεθεί θύμα επίθεσης. Ταυτόχρονα υπάρχει η πιθανότητα κλοπής ρεύματος μέσω αυτής της υπηρεσίας κάνοντας παράνομη εκκίνηση της υπηρεσίας εκκινώντας την παροχή ρεύματος στον έξυπνο μετρητή. Η επαλήθευση των χρόνων μηνυμάτων ή η χρήση ενός nonce δηλαδή ενός τυχαίου αριθμού επαλήθευσης αυθεντικοποίησης έχουν αποδειχθεί επαρκές ως προς επιθέσεων επανάληψης. Ωστόσο, τα ρολόγια πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιούνται από έξυπνους μετρητές παρουσιάζουν βασικά ζητήματα μιας και δεν μπορούν να συγχρονιστούν στο δίκτυο επικοινωνίας. [22] Από την άλλη, τα μηνύματα των έξυπνων μετρητών ή του κέντρου ελέγχου χρειάζονται περισσότερο χρόνο να φτάσουν στον προορισμό τους. Αυτοί οι δυο παράγοντες καθιστούν τις επιθέσεις επανάληψης σε έξυπνους μετρητές πολύ πιθανές. Για παράδειγμα ένας εισβολέας μπορεί να επαναλάβει μια παλιά ειδοποίηση όπου κορυφώθηκε η μετάδοση ενέργειας που μεταδόθηκε από το κέντρο ελέγχου με αποτέλεσμα ο έξυπνος μετρητής να απενεργοποιησει ορισμένες συσκευές ενώ η ενέργεια είναι διαθέσιμη. Ορισμένες εργασίες επικεντρώνονται σε μία συσκευή που ονομάζεται πύλη εισόδου. Η λειτουργία της πύλης εισόδου είναι να λαμβάνει τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας από τον έξυπνο μετρητή και να τα εμφανίζει στις συσκευές παρακολούθησης του ιδιοκτήτη (φορητός υπολογιστής, tablet, smartphone). Αυτά τα στοιχεία στέλνονται στον πάροχο υπηρεσιών προκειμένου να γίνει σωστή διαχείριση της ενέργειας για οικονομικότερο όφελος. Ως εκ τούτου μια τέτοια επικοινωνιακή πύλη θα μπορούσε να γίνει στόχος παρακολούθησης και πιθανούς τροποποίησης. [23] Οι μονάδες μέτρησης Phasor (PMU) έχουν την δυνατότητα συλλογής μετρήσεων τάσης και ηλεκτρικών μεγεθών με σκοπό την αποστολή των στοιχείων αυτών σε ένα συγκεντρωτή δεδομένων Phasor (PDC). Το PDC διαβάζει τα δεδομένα από πολλαπλά PMU, συγχωνεύει την πληροφορία σε ένα μήνυμα και επικοινωνεί με τον αρμόδιο τομέα λειτουργιών. Αυτά τα μηνύματα PMU μπορούν να γίνουν στόχος επίθεσης αλλοιώνοντας τα περιεχόμενα των μηνυμάτων το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε επαναλήψεις μεταφοράς των μηνυμάτων μεταξύ PMU και PDC. Τέτοιες επιθέσεις μπορούν να επηρεάσουν την ανίχνευση σφαλμάτων και εύρεση τοποθεσίας. Για παράδειγμα, όταν ένας εισβολέας αναπαράγει ένα μήνυμα PMU που περιέχει μετρήσεις ενεργειακών απωλειών ή διακοπών γραμμής το λειτουργικό σύστημα μπορεί να πάρει την απόφαση να διακόψει την ηλεκτρική ενέργεια της περιοχής. [24]

### Επιθέσεις Συστημάτων

Ο τομέας των λειτουργιών περιλαμβάνει πολλαπλά συστήματα ελέγχου τα οποία έχουν παρόμοιους στόχους και απαιτήσεις. Η ενέργεια των συστημάτων διαχείρισης (EMS) και συστημάτων διαχείρισης διανομής (DMS) είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο μετάδοσης και διανομής ενέργειας. [25]

Ο επόπτης απόκτησης ελέγχου και δεδομένων (SCADA) υποστηρίζει τον έλεγχο εφαρμογών υπεύθυνα για τον έλεγχο προβλημάτων στο ενεργειακό δίκτυο πλέγματος. Ο έλεγχος και η διαχείριση εκτελούν κρίσιμες λειτουργίες όπως ρύθμιση της τάσης, καθορισμός διακοπών, μεταφορά ισχύος για την διανομή και την μετάδοση της ενέργειας και πρέπει να προστατεύονται ενάντια σε τυχόν επιθέσεις. Ένας κακόβουλος κόμβος μπορεί να εκτελέσει επιθέσεις τύπου DoS σε συστήματα ελέγχου επηρεάζοντας την διαθεσιμότητα τους. Επιπλέον μια επίθεση εσφαλμένων δεδομένων σε συστήματα ελέγχου μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις τους. Για παράδειγμα, η αποστολή ψευδούς μετρήσεων ενέργειας επηρεάζουν τις δραστηριότητες διανομής και μεταφοράς του συστήματος καθώς λαμβάνει αποφάσεις ελέγχου βάσει ψευδών PMU πληροφοριών. Ένας κακόβουλος κόμβος θα μπορούσε να επαναλάβει την μετάδοση παλιών PMU δεδομένων μέτρησης όπου με βάση αυτά να λάβει τις αρμόδιες και λανθασμένες αποφάσεις. Η παρακολούθηση προστασίας και ελέγχου ευρείας περιοχής (WAMPAC) θα ανταλλάσσει δεδομένα μετάδοσης με άλλα συστήματα ελέγχου για να προσφέρει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, να προειδοποιεί λειτουργίες και να εξασφαλίζει αποτελεσματική μετάδοση ενέργειας, παραγωγής και συσσωμάτωσης στο ηλεκτρικό δίκτυο πλέγματος. [26] Το σύστημα WAMPAC είναι επίσης ευάλωτο σε χρονικές επιθέσεις όπως επιθέσεις DOS ενώ οι εφαρμογές παρέχουν λειτουργία και απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Μια επίθεση άρνησης εξυπηρέτησης μπορεί να γίνει σε διαφορετικό επίπεδο επικοινωνίας. Για παράδειγμα, ένας κακόβουλος κόμβος με μία επίθεση μπλοκαρίσματος που γεμίζει το ασύρματο δίκτυο με μέσα σήματα θορύβου μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις σε κρίσιμα μηνύματα χρόνου. [27] Οι επιθέσεις μπλοκαρίσματος μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στην διαθεσιμότητα του συστήματος χωρίς δυνατότητα ανάκτησης από τον κόμβο. Επιπλέον, άλλοι τύποι επιθέσεων όπως spoofing και man-in-the-middle (MITM) μπορούν να ξεκινήσουν μόνο όταν μερικά ή όλο το κανάλι επικοινωνίας είναι μπλοκαρισμένα. Στα συστήματα AMI όπου γίνεται επικοινωνία μεταξύ έξυπνου μετρητή και κέντρου ελέγχου τα μηνύματα παραδίδονται σε multi-hop. Επιθέσεις MITM μπορούν ενδεχόμενος να ξεκινήσουν και οι πληροφορίες ενεργειακής κατανάλωσης μπορούν να τροποποιηθούν πριν μεταδοθεί το μήνυμα. Επιπλέον, παρακολουθώντας το ασύρματο κανάλι επικοινωνίας, ένας εισβολέας μπορεί να αποκτήσει πληροφορίες ανταλλαγής μεταξύ του έξυπνου μετρητή και του κέντρου ελέγχου.

### Επιθέσεις Δικτύων

Το δίκτυο γειτονίας (NAN) καλύπτει και διαχειρίζεται τις επικοινωνίες μεταξύ έξυπνων μετρητών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης για χαμηλή ισχύ και απωλειών δικτύου (RPL), το πρωτόκολλο ελάχιστη ενέργεια μετάδοσης (MTE) και το Adhoc On-Demand Vector Multipath (AODVMP) είναι πρωτόκολλα δρομολόγησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε NAN δίκτυα. [28] Οι περισσότερες διαθέσιμες επιθέσεις σε WSNs όπως επιθέσεις προώθησης μπορούν να επηρεάσουν πρωτόκολλα δρομολόγησης RPL για το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Επίσης ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης RPL μπορεί να αποτύχει κάτω από άλλους τύπους επιθέσεων. Επιπλέον επιθέσεις ασύρματων αισθητήρων δικτύου μπορούν να εφαρμοστούν σε πρωτόκολλα ελάχιστης ενέργειας μετάδοσης (MTE).



Για παράδειγμα, ένας εισβολέας μπορεί να εκτελέσει μια μαύρη τρύπα ή μια επίθεση επιλεκτικής προώθησης προκειμένου να μειώσει τα εισερχόμενα πακέτα. Αποτελέσματα προσομοιώσεων δείχνουν ότι ένας μικρός αριθμός συμβιβασμένων έξυπνων μετρητών μπορούν σοβαρά να μεταβάλουν την συνδεσιμότητα του δικτύου και τα μέτρα παράδοσης πακέτων. [29]

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των έξυπνων μετρητών είναι επίσης ευπαθή σε επιθέσεις. Ορισμένα από τα ασύρματα πρωτόκολλα που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε δίκτυα Smart Grid όπως ZigBee, Wimax, Wifi, LTE, UMTS, GPRS είναι ευάλωτα σε επιθέσεις όπως (μπλοκαρίσματος, τροποποίησης περιεχομένου, παρακολούθησης και άλλα). Το δίκτυο τοπικής περιοχής (HAN) διαχειρίζεται τις επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών HAN όπως PHEV, προγραμματιζόμενος θερμοστάτης και του έξυπνου δικτύου. Τα HAN μπορούν να κάνουν χρήση υπάρχοντων λύσεων ασφαλείας για επικοινωνία όπως IDS, IPsec, VPN, PKI σε δίκτυα όπως ZigBee, Bluetooth, WiFi αλλά δεν επαρκούν για την εξασφάλιση ασφάλειας λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. [30]

### Μελλοντικές Προκλήσεις Ασφάλειας

Η διασφάλιση προφύλαξης του Smart Grid, από το κέντρο ελέγχου έως τους καταναμημένους υποσταθμούς, τις έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED) και ακόμη και τους μετρητές πελατών, απαιτείται μια παγκόσμια υποδομή ασφαλείας από άκρο σε άκρο. Αυτή η υποδομή πρέπει να αναπτύξει λύσεις ασφαλείας για τα δίκτυα (HAN, NAN και FAN) και τα τελικά σημεία (έξυπνοι μετρητές, IED, υποσταθμοί, κέντρο ελέγχου). Η υποδομή επικοινωνιών Smart Grid μπορεί να υποστηρίξει τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης όπως ZigBee, Wimax, Wifi. Το δίκτυο τοπικής περιοχής (HAN) διαχειρίζεται διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ZigBee. Η προδιαγραφή ZigBee παρουσιάζει μια σειρά διατάξεων ασφαλείας για συσκευές σε ένα δίκτυο. Η μελέτη της απόδοσης των μηχανισμών ασφαλείας ZigBee για τη διαχείριση των εφαρμογών ZigBee στο οικιακό δίκτυο παραμένει ένα ανοιχτό ερευνητικό θέμα. Ενώ οι προδιαγραφές ZigBee έχουν σχεδιαστεί για απλούστερες εργασίες όπως απομακρυσμένος έλεγχος και αισθητήρες. Η ZigBee Alliance λειτουργεί πραγματικά για να παρέχει ένα πρότυπο για το δίκτυο NAN mesh. Το δίκτυο περιοχής πεδίου μπορεί να δημιουργήσει επικοινωνίες μεταξύ καταναμημένων συσκευών και υποσταθμού βάσει του Wimax. [31]

Προκειμένου να αναπτυχθεί μια υποδομή ασφαλείας από άκρο σε άκρο, το σύνολο των τεχνολογιών πρόσβασης που εμπλέκονται στο έξυπνο δίκτυο πρέπει να διασφαλιστεί για να προστατεύσει τη ροή των λειτουργιών του έξυπνου δικτύου. Από την άλλη πλευρά υπάρχει δυνατότητα χρήσης του πρωτοκόλλου IPsec για την παροχή αρχιτεκτονικής ασφαλείας για το δίκτυο Smart Grid. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να εξεταστεί μια μελέτη του IPsec πάνω από το ZigBee και το Wimax. Το ZigBee σχεδιάστηκε για τοπικά δίκτυα, δεν επικοινωνεί απευθείας με συσκευές στο Διαδίκτυο. Το ασύρματο δίκτυο προσωπικών περιοχών χαμηλής κατανάλωσης IPv6 επιτρέπει την ανταλλαγή πακέτων IPv6 από και προς τα δίκτυα που βασίζονται στο IEEE802.15.

Εάν το 6LowPAN χρησιμοποιείται στο οικιακό δίκτυο, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι εκτεταμένες απαιτήσεις ασφαλείας. Επιπλέον, πρέπει να μελετηθεί η ασφάλεια του Wimax IP για το δίκτυο FAN. Η ανάπτυξη του IPsec σε ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να προκαλέσει ορισμένα προβλήματα, αφότου τα Smart Grids παρουσιάζουν ιδιαίτερους περιορισμούς. [32]

### Συμπεράσματα για την ασφάλεια

Η διασφάλιση του έξυπνου δικτύου είναι απαραίτητη εφόσον οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται είναι ευαίσθητες και οι λειτουργίες διαχείρισης είναι κρίσιμες (απενεργοποίηση του ηλεκτρισμού, τερματισμός λειτουργίας έξυπνων μετρητών ...). Το Smart Grid είναι οργανωμένο σε πολλούς τομείς και κάθε τομέας περιλαμβάνει ετερογενείς συσκευές και συστήματα. Επομένως, είναι δύσκολο να μελετηθούν τα τρωτά σημεία του συνόλου του δικτύου. Ο έξυπνος μετρητής είναι ένα κρίσιμο συστατικό στοιχείο και είναι ευάλωτο σε πολλούς τύπους επιθέσεων (εντοπισμός, παρακολούθηση, ψευδής έγχυση δεδομένων και επίθεση επανάληψης). Επιπλέον, υπογραμμίσαμε ότι ένας εισβολέας μπορεί να παραβιάσει την ταυτότητα του έξυπνου μετρητή για να έχει πρόσβαση σε όλες τις επικεφαλίδες. Τα συστήματα ελέγχου (DMS, EMS) μπορούν να επηρεαστούν από επιθέσεις DOS που καθιστούν τα συστήματα μη διαθέσιμα για αιτήματα πλέγματος. Ορισμένες εργασίες ενδιαφέρονται να καθορίσουν επιθέσεις που μπορούν να εκτελεστούν σε δίκτυα και ειδικά στο δίκτυο NAN. Η επίθεση στο σύστημα AMI και η επιλεκτική επίθεση προώθησης στα πρωτόκολλα δρομολόγησης ενδέχεται να απομονώσουν έναν νόμιμο κόμβο που δεν θα μπορέσει να προσεγγίσει τους γείτονές του και το κέντρο ελέγχου. Ωστόσο, υπάρχουν πολύ λίγα έργα που ερευνούν την ασφάλεια των τομέων όπως οι πάροχοι υπηρεσιών, οι αγορές κ.λπ. ενώ πολλές επιθέσεις μπορούν να ξεκινήσουν εναντίον τους και αξίζουν μια μελέτη σε μελλοντικά έργα. Για να εξασφαλιστεί το έξυπνο δίκτυο, πρέπει να αντιμετωπιστεί μια αρχιτεκτονική ασφαλείας από την αρχή μέχρι το τέλος.

## 1.4.4 Έλλειψη Συνειδητοποίησης

---

Καθώς οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα κινηθούν προς τα Smart Grids, θα υπάρξει ζήτηση για νέες ομάδες ατόμων προκειμένου να αναπτυχθούν νέες δεξιότητες σε τομείς όπως η ανάλυση, η διαχείριση δεδομένων και η λήψη αποφάσεων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, ένα επιλεγμένο προσωπικό μηχανικών θα πρέπει να εκπαιδευθεί στην διαχείριση και μεταβίβαση από το τωρινό σύστημα απόκτησης και παροχής ρεύματος στο νέο εξυγχρονισμένο δίκτυο πλέγματος. Αυτή η μετάβαση απαιτεί χρόνο και χρήμα από κυβερνητικούς και ιδιωτικούς φορείς για την στήριξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων που θα βοηθήσουν στην κατασκευή διευθυντών και μηχανικών για τις τεχνολογίες του αύριο.

Η ενημέρωση των πολιτών για τις τεχνολογίες των έξυπνων δικτύων είναι εξίσου σημαντική προκειμένου ο καταναλωτής να κατανοήσει την λειτουργία των έξυπνων δικτύων, τον τρόπο χρήσης τους και τα πλεονεκτήματά τους. [33]



## 1.4.5 Διαλειτουργικότητα

---

Ένα έξυπνο δίκτυο πρέπει να είναι αρκετά κλιμακωτό ώστε να διευκολύνει τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου [34]. Πολλοί έξυπνοι μετρητές, έξυπνοι κόμβοι αισθητήρων, έξυπνοι συλλέκτες δεδομένων και ανανεώσιμοι πόροι ενέργειας εντάσσονται στο δίκτυο επικοινωνιών. Ως εκ τούτου, το έξυπνο δίκτυο πρέπει να χειρίζεται την κλιμάκωση με την ενσωμάτωση προηγμένων υπηρεσιών ιστού, αξιόπιστα πρωτόκολλα με προηγμένες λειτουργίες, όπως αυτοδιάταξη, πτυχές ασφαλείας.

## 1.4.6 Προβλήματα Συστήματος Αυτοθεραπείας

---

Το χειρισμό ενός συστήματος κατά τη διάρκεια ανώμαλων συνθηκών ή υπό βλάβη είναι πολύ πιο πολύπλοκο σε σύγκριση με την κανονική λειτουργία. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο συνιστάται μια βασική πρόκληση για την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου κατά τον ορισμό του συστήματος υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Το σύστημα πρέπει να ανταποκριθεί αμέσως για να αποφευχθεί η διάσπαση του συστήματος και πρέπει να ξεκινήσει τις δράσεις αυτοθεραπείας μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από οποιαδήποτε έκτακτη ανάγκη. Η γρήγορη σηματοδότηση ελέγχου είναι μια θεμελιώδης απαίτηση σε τέτοιες καταστάσεις για τον έλεγχο διαφόρων ενεργοποιητών στο σύστημα.

Η συνεχής παρακολούθηση μέσω αισθητήρων και οι κατάλληλες ενέργειες για την πρόληψη των προβληματικών συνθηκών αποτελούν σημαντική πτυχή του έξυπνου δικτύου. Ωστόσο, η ενεργοποίηση του συστήματος για αυτοθεραπεία μετά την εμφάνιση του σφάλματος απαιτεί τεράστια αυτοματοποίηση, γρήγορο έλεγχο και ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε κάθε επίπεδο. Η απομόνωση του ελαττωματικού τμήματος του συστήματος για την αποφυγή της εξάπλωσης σφάλματος αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση του συστήματος προστασίας. Η αναμόρφωση του ελαττωματικού τμήματος μετά από αυτοθεραπεία σύμφωνα με τις συνθήκες του συστήματος χωρίς χειροκίνητη διακοπή είναι μια μεγάλη πρόκληση για το έξυπνο δίκτυο.

Η αξιοπιστία του συστήματος έχει καταστεί μία από τις πιο σημαντικές προτεραιότητες για τα βοηθητικά προγράμματα παροχής ενέργειας. Η γήρανση των υποδομών ενέργειας και η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και της αιχμής της ζήτησης αποτελούν μερικούς από τους λόγους που δημιουργούν προβλήματα αξιοπιστίας για το ηλεκτρικό δίκτυο [35]. Η αξιοποίηση των σύγχρονων και ασφαλών επικοινωνιακών πρωτοκόλλων, των επικοινωνιών και των τεχνολογιών της πληροφορίας, οι ταχύτερες και πιο ισχυρές συσκευές ελέγχου, οι ενσωματωμένες ευφυείς συσκευές (IED) για ολόκληρο το δίκτυο από υποσταθμούς και τροφοδότες προς πόρους των πελατών, θα ενισχύσει την αξιοπιστία και την ευρωστία του συστήματος [35]. Η διαθεσιμότητα της δομής επικοινωνίας βασίζεται στην προτιμώμενη τεχνολογία επικοινωνίας.

Ασύρματες τεχνολογίες με περιορισμένο εύρος ζώνης και το μειωμένο κόστος εγκατάστασης, μπορεί να είναι μια καλή επιλογή για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη έξυπνων δικτύων [36]. Από την άλλη πλευρά, οι ενσύρματες τεχνολογίες με αυξημένη χωρητικότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια μπορεί να είναι δαπανηρές [36]. Για την αξιοπιστία, την ευρωστία και τη διαθεσιμότητα του συστήματος, ταυτόχρονα με το κατάλληλο κόστος εγκατάστασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια υβριδική τεχνολογία επικοινωνίας που αναμιγνύεται με ενσύρματες και ασύρματες λύσεις.

## 1.4.7 Προβλήματα Τυποποίησης

---

Τα Smart Grids έχουν λάβει σημαντική προσοχή παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Οι έννοιες διαφέρουν πολύ στις κύριες περιοχές και αυτό αντικατοπτρίζεται και στους αντίστοιχους χάρτες πορείας και στις μελέτες. Ωστόσο, για τις CEN / CENELEC και το ETSI υπάρχουν ορισμένοι οργανισμοί τυποποίησης οι οποίοι, βάσει αμοιβαίων συμφωνιών, βρίσκονται στο επίκεντρο των ευρωπαϊκών δραστηριοτήτων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα ISO, IEC και ITU-T καθώς και τους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης στην Ευρώπη. Τα αποτελέσματα από αυτούς τους οργανισμούς πρέπει να εξεταστούν με ύψιστη προτεραιότητα, καθώς επηρεάζουν το έργο σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Επιπλέον, η συνεργασία με το ISO, IEC ή το 3GPP είναι ο κύριος μοχλός μας για τη διεθνοποίηση των ευρωπαϊκών εργασιών τυποποίησης<sup>1</sup>). Υπάρχουν βέβαια και άλλοι οργανισμοί τυποποίησης που πρέπει να αλληλεπιδρούν στα δίκτυα των τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων. ISO / IEC JTC 1 και 3GPP σε διεθνές επίπεδο, NIST, KATS, JISC σε περιφερειακό επίπεδο και σε όλους τους σχετικούς οργανισμούς σε εθνικό επίπεδο.

Στην Ευρώπη η Επιτροπή μαζί με τη βιομηχανία και την ερευνητική κοινότητα συνέταξαν χάρτες πορείας για τις τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα με ισχυρό δυναμικό σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης σε έξι τομείς: αιολική, ηλιακή, ηλεκτρικά δίκτυα, βιοενέργεια, δέσμευση άνθρακα (CCS) και βιώσιμη πυρηνική σχάση. Στη βάση αυτή, η Επιτροπή, μαζί με τους ενδιαφερόμενους φορείς της βιομηχανίας, ξεκίνησε τέσσερις βιομηχανικές πρωτοβουλίες, μεταξύ των οποίων και μία για τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας τον Ιούνιο του 2010. Η πρωτοβουλία EEGI δημοσίευσε ήδη λεπτομερή χάρτη πορείας για την περίοδο 2010-2018 περιγράφοντας τη διαδικασία για την εφαρμογή έξυπνων δικτύων στην Ευρώπη. [37] Για αποτελεσματική ανάπτυξη, είναι απαραίτητο να συντονιστούν οι ακόλουθες αλλαγές:

- Διασυνδέσεις
- Συσκευές
- Επικοινωνία
- Ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ακεραιότητα του συστήματος
- Μοντέλα συστήματος
- Διαχείριση δικτύων και συστημάτων
- Κωδικό δικτύου και κανόνες της βιομηχανίας
- και πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους κανόνες της αγοράς

## 1.5 Ελληνική Πραγματικότητα

---



Το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι ο λιγνίτης. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμύνταιου και Φλώρινας. Ο λιγνίτης ως καύσιμο υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει στην Ελλάδα τεράστια εξοικονόμηση συναλλάγματος.

Ο λιγνίτης έχει εξελιχθεί σε καύσιμο στρατηγικής σημασίας για τη ΔΕΗ, κυρίως για το χαμηλό κόστος εξόρυξης και την άμεσα ελέγξιμη τιμή του. Παράλληλα, προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ο λιγνίτης έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του εθνικού μας προϊόντος.

Με βάση όμως τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια. Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) συνιστούν την βάση του παγκόσμιου οικοδομήματος για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με λιγνίτη. Οι λιγνιτικές μονάδες προκαλούν εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος με προεκτάσεις οικονομικές αλλά και στην υγεία των γύρω κατοίκων. Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση λιγνίτη αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος.

Με βάση την κλιματική αλλαγή, συμφωνήθηκε μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί διεθνή συμφωνία που συνδέεται με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία δεσμεύει τα συμβαλλόμενα μέρη της θέτοντας διεθνώς δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου.

Αναγνωρίζοντας ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα σημερινά υψηλά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα πάνω από 150 χρόνια βιομηχανικής δραστηριότητας, το πρωτόκολλο δίνει μεγαλύτερο βάρος στις ανεπτυγμένες χώρες, βάσει της αρχής των «κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών».

Η δομή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει λοιπόν βάσει περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνολογικών κινήτρων. Οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής δίνουν χώρο σε νέες μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται διανεμημένες στο δίκτυο.

Η χώρα μας έχει αναπτύξει αρκετές πρωτοβουλίες σε σχέση με τη δημιουργία υποδομών αλλά και την εκπόνηση έργων σχετικών με την τεχνολογία Grid. Οι πρωτοβουλίες αυτές εντοπίζονται στην ερευνητική κοινότητα. Η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας Grid επιβάλλει τη διάδοση και επέκταση της τεχνολογίας αυτής και στον εταιρικό κόσμο. Είναι επιτακτική ανάγκη οι ελληνικές επιχειρήσεις και η ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα να δημιουργήσουν ένα κοινό όραμα για την ανάπτυξη και την υιοθέτηση της τεχνολογίας Grid.

Επιπλέον, υιοθετείται από τις κοινότητες στην Ελλάδα το αντίστοιχο λογισμικό ανοιχτού κώδικα, δηλαδή λογισμικό για το οποίο ο πηγαίος κώδικας παρέχεται χωρίς περιορισμούς στη χρήση του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κόστος απόκτησης του λογισμικού ακυρώνεται και δημιουργείται ένας πυρήνας διάχυσης της τεχνολογίας που μπορεί να διεγείρει την έρευνα σχετικά με τις σχετικές τεχνολογίες στη χώρα μας και να ικανοποιήσει την πιθανή ανάγκη προσαρμογής μικρής κλίμακας και προσανατολισμένης στις εφαρμογές.

Στην Ελλάδα, η πρωτοβουλία ανοιχτού κώδικα έχει δεχθεί ικανοποιητική αποδοχή, με πρόσφατο παράδειγμα λειτουργίας μιας σχετικής ιστοσελίδας υπό την αιγίδα του ΕΔΕΤ ([www.open-source.gr](http://www.open-source.gr) και [www.ellak.gr](http://www.ellak.gr)). Η συμμετοχή επιστημονικών ομάδων κυρίως από την Ελλάδα σε διάφορα επίπεδα πληροφόρησης σχετικά με τις διεθνείς πρωτοβουλίες, η συνεργασία με συναφείς εταίρους από το εξωτερικό και η χρήση πειραματικών δικτύων προέκυψε από τις αναδυόμενες διεθνείς τάσεις πρακτικών υπολογισμών στους αντίστοιχους ερευνητικούς τομείς.

Το πλέγμα αντιμετωπίζεται ως ένας εξελικτικός σταθμός ο οποίος φυσικά ακολουθεί τον υπολογισμό του τοπικού υπολογισμού συμπλέγματος. Υπό αυτή την έννοια, στην Ελλάδα υπάρχει αρκετή τεχνολογία από αυτό το προηγούμενο μοντέλο υπολογισμού χρόνου. Στα ελληνικά ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης διδάσκονται σε προπτυχιακό ή μεταπτυχιακό επίπεδο, μαθήματα που εστιάζουν σε αυτό το μοντέλο.

Η ανάπτυξη εφαρμογών και η χρήση συστοιχιών μονάδων υπολογιστών είναι ευρέως διαδεδομένη. Συνεπώς, η υιοθέτηση και ενσωμάτωση στις καθημερινές πρακτικές των σχετικών τεχνολογιών Grid, ειδικά σε ακαδημαϊκά και ερευνητικά περιβάλλοντα, φαίνεται εξαιρετικά ομαλή. Βεβαίως, οι δυσκολίες είναι πολλές και σε ορισμένες περιπτώσεις σχετίζονται με ζητήματα που δεν αντιμετωπίζονται άμεσα.

Η ευζωνική πρόσβαση εξελίσσεται σταδιακά, έτσι οι απομονωμένοι χρήστες και η ελληνική περιφέρεια δεν θα αποκομίσουν καρπούς στο εγγύς μέλλον. Υπάρχει διασπορά υπολογιστικών υποδομών σε ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια στη χώρα μας. Η διασπορά πέραν του επιπέδου της γεωγραφικής τους κατανομής διαπιστώνεται ελλείψει ενός εθνικού πλαισίου που να διέπει τη λειτουργία τους σε συνεταιρισμό. Ως εκ τούτου, η ενοποίησή τους, ως ιδέα του δικτύου, θα πρέπει σίγουρα να αντιμετωπίσει τη διάδοση και την αποδοχή ενός επαναπροσδιορισμένου, πιο παγκόσμιου ρόλου.

Η Ελλάδα είναι μια μικρή αγορά υπηρεσιών πλέγματος. Σε άλλα μέρη εκτός των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, υπάρχει χαμηλή ζήτηση για τέτοιες τεχνολογίες. Η πλειοψηφία των επιχειρήσεων στη χώρα μας δεν διαθέτει τα τμήματα Έρευνας και Ανάπτυξης που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν ένα πιθανό σενάριο για τη χρήση του Grid στον επιχειρηματικό τους κύκλο. Υπάρχει λοιπόν μια υστέρηση στο επίπεδο της τεχνογνωσίας που ενισχύεται από τον περιορισμένο χρονικό ορίζοντα των αναγκών της εγχώριας αγοράς. [38, 39]

## ΔΕΔΔΗΕ

Την αντικατάσταση των τωρινών συστημάτων μέτρησης με νέους έξυπνους μετρητές σε οικίες και επιχειρήσεις έχει αναλάβει η ΔΕΗ βάση της επίσημης νομοθεσίας 4001 άρθρο 59 που προβλέπει την εφαρμογή ευφυών συστημάτων μέτρησης στην Ελλάδα. Ο ΔΕΔΔΗΕ σχεδιάζει την εφαρμογή Πιλοτικού Προγράμματος για την εγκατάσταση, δοκιμή και λειτουργία περίπου 170.000 μετρητών σε επιλεγμένες γεωγραφικές περιοχές του δικτύου διανομής, μέσα από το οποίο θα μπορεί να τεκμηριωθεί μια τελική εισήγηση σχετικά με την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού τεχνολογιών Μετρητών, Τηλεπικοινωνιών και Κέντρου Συλλογής Πληροφοριών. Ο ΔΕΔΔΗΕ διατηρεί το δικαίωμα να ορίζει συγκεκριμένα την καταμέτρηση των μετρητών ανά "γεωγραφική περιοχή" για να εξασφαλιστεί η επαρκής σύνθεση δείγματος για κάθε περιοχή. Περαιτέρω ο ΔΕΔΔΗΕ απαιτεί την αναγκαία τηλεπικοινωνιακή και επιχειρησιακή υποστήριξη για τη διατήρηση (ή υπέρβαση) των καθορισμένων λειτουργικών προδιαγραφών σε κάθε τομέα της ανάπτυξης και για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα του δείγματος συγκεντρώθηκαν, επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν επαρκώς, για κάθε "γεωγραφική περιοχή".

Το Πιλοτικό Έργο απαιτεί ένα ολοκληρωμένο, "Turn key solution", σύστημα: τη δημιουργία, την ανάπτυξη και λειτουργία ενός συστήματος Προηγμένων Υποδομών Μέτρησης (AMI) καθώς και ένα ξεχωριστό σύστημα Διαχείρισης Μετρητικών Δεδομένων (MDM).

Το Πιλοτικό Έργο θα καλύψει το σχεδιασμό, την εκπόνηση των απαιτούμενων λειτουργικών και κατασκευαστικών μελετών, την προμήθεια του απαραίτητου εξοπλισμού, την εγκατάσταση του και την αποδοχή δοκιμών για το AMI/MDM σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων, του υλικού και του λογισμικού. Στο Πιλοτικό Έργο περιλαμβάνεται επίσης η προμήθεια, εγκατάσταση και ένταξη σύγχρονων ηλεκτρονικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας ΧΤ στο AMI / MDM σύστημα. Οι μετρητές τελευταίας τεχνολογίας θα εγκατασταθούν σε επιλεγμένες γεωγραφικές περιοχές του δικτύου διανομής ώστε να επιτευχθεί επαρκής σύνθεση δείγματος για κάθε περιοχή και θα ενταχθούν επικοινωνιακά στο κεντρικό σύστημα ώστε να επιτευχθεί συλλογή, επικύρωση, εκτίμηση και επεξεργασία των μετρητικών δεδομένων. Ταυτόχρονα θα αποξηλωθούν οι υφιστάμενες μετρητικές διατάξεις των πελατών του δικτύου διανομής και θα εκσυγχρονιστεί ο εξοπλισμός τοποθέτησης των μετρητικών διατάξεων (κιβώτια μετρητών, μικροαυτόματοι διακόπτες, σφραγίδες κλπ.). Όλα τα αποξηλωθέντα υλικά θα επιστραφούν από τον Ανάδοχο στις αποθήκες του ΔΕΔΔΗΕ.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του εξοπλισμού τοποθέτησης των μετρητικών διατάξεων θα διατεθούν από το ΔΕΔΔΗΕ στους συμμετέχοντες για την Διακήρυξη Ανοικτού Διαγωνισμού για το Έργο «Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων». Το κόστος αυτού του εξοπλισμού θα περιλαμβάνεται στο κόστος του έργου. Οι γεωγραφικές περιοχές του δικτύου οι οποίες έχουν επιλεγεί για την εφαρμογή του πιλοτικού προγράμματος περιλαμβάνουν περιοχές αστικές, ημιαστικές και αγροτικές της ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς και νησιωτικά συμπλέγματα προκειμένου να αποκτηθεί εμπειρία από τη λειτουργία ενός συστήματος AMI/MDM σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα της ελληνικής επικράτειας. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές που έχουν επιλεγεί δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Γεωγραφική Περιοχή	Περιφέρεια ή Νομός / ΟΤΑ	Πλήθος Μετρητών ΧΤ
Ανατολική Μακεδονία - Θράκη	Νομός Ξάνθης	~60,000
Βορείου Αιγαίου	Νομός Λέσβου (Νήσος Λέσβος, νήσος Λήμνος, νήσος Άγιος Ευστράτιος)	~80,000
Νησιά Ιονίου	Νομός Λευκάδας	~20,000
Αθήνα	Αττική	~7,000
Θεσσαλονίκη	Κεντρική Μακεδονία	~3,000
	Σύνολο	~170,000
<i>Προαίρεση</i>		
Κυκλάδες	Νήσος Θήρα	~17,000
	Νήσος Κύθνος	~3,000
	Νήσος Μήλος	~10,000
	Σύνολο	~30,000

**Πίνακας 1 :** Πλήθος μετρητών ανά περιοχή



Οι τεχνολογίες επικοινωνιών που θα δοκιμαστούν στο πιλοτικό έργο είναι οι εξής:

**1. Η τεχνολογία επικοινωνίας PLC (Power Line Carrier)** μέσω των γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και κατάλληλων συγκεντρωτών τοποθετημένων σε κάθε υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ.

**2. Ασύρματη Τεχνολογία GPRS (General Packet Radio Services)** επικοινωνία, περιλαμβανομένων των τεχνολογιών κινητής 2G/3G.

Οι παραπάνω τεχνολογίες (PLC, GPRS) πρέπει να εφαρμοστούν η κάθε μια σε ένα ελάχιστο ποσοστό 20% του συνολικού πλήθους των μετρητών του πιλοτικού έργου (τουλάχιστον 20% PLC και τουλάχιστον 20% GPRS ανά γεωγραφική περιοχή). Ο ανάδοχος θα επιλέξει για το υπόλοιπο 60% να εφαρμοστεί PLC ή GPRS ανά γεωγραφική περιοχή κατά την κρίση του. Επισημαίνεται πως για την πραγματική αναλογία εγκατάστασης τεχνολογιών επικοινωνίας δεν επιτρέπεται απόκλιση από τη δηλωθείσα αναλογία για κάθε περιοχή και το σύνολο του έργου. Ωστόσο, μετρητές εγκατεστημένοι εντός του ίδιου χώρου, είναι δυνατό να επικοινωνούν με το κεντρικό σύστημα με χρήση κοινού μέσου επικοινωνίας GPRS και κατάλληλης μεταξύ τους διασύνδεσης (π.χ. RS485). Οι μετρητές αυτοί θα λογίζονται ως μετρητές GPRS κατά την αξιολόγηση του ποσοστού 20-80% ως προς τους εγκατεστημένους μετρητές.

Το Πιλοτικό Έργο προβλέπεται να περιλαμβάνει την ολοκληρωμένη μελέτη, την προμήθεια και εγκατάσταση του εξοπλισμού, την εκτέλεση όλων των απαραίτητων δοκιμών και ρυθμίσεων και την παράδοση στο ΔΕΔΔΗΕ, έτοιμων για εμπορική λειτουργία ("Turn key solution"). Ο Ανάδοχος πρέπει να εκπονήσει όλες τις απαραίτητες μελέτες, να διαθέτει όλες τις απαιτούμενες άδειες, να προβεί στην προμήθεια όλου του απαραίτητου εξοπλισμού καθώς και του απαραίτητου λογισμικού, στη σύμβαση μίσθωσης των διαθέσιμων πόρων, να κατασκευάσει τα αναγκαία έργα, να εγκαταστήσει, ρυθμίσει και δοκιμάσει τον εξοπλισμό και τελικά να κατασκευάσει πλήρως το σύστημα.

#### **Ειδικότερα, το πιλοτικό έργο περιλαμβάνει:**

Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων των υπό εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνων μετρητών, συστημάτων τηλεμέτρησης και έξυπνων δικτύων στην προστασία των προσωπικών δεδομένων.

Κεντρικά Συστήματα AMI/MDM (κύριο και εφεδρικό) για τη συλλογή και επεξεργασία μετρητικών δεδομένων των πελατών του δικτύου διανομής με δυναμικότητα για τουλάχιστον 300.000 μετρητικά σημεία.

Τις υποδομές που απαιτούνται για τη λειτουργία του δικτύου AMI/MDM. 140.000 περίπου μονοφασικούς και 30.000 τριφασικούς ηλεκτρονικούς μετρητές ΧΤ οι οποίοι πρέπει να είναι συμβατοί με εγκεκριμένα πρότυπα της CENELEC ή/και με αναδυόμενα πρότυπα που εξετάζονται από τη CENELEC/TC13.

Οι μετρητές πρέπει να προέρχονται από τουλάχιστον δύο διαφορετικούς κατασκευαστές για κάθε είδος μετρητή μονοφασικού (1Φ) ή τριφασικού (3Φ), με ελάχιστο ποσοστό μετρητών ανά κατασκευαστή. Η διαλειτουργικότητα και η εναλλαξιμότητα μεταξύ των προσφερόμενων τύπων των μετρητών σε επίπεδο συγκεντρωτή υποσταθμού με τεχνολογία PLC, θα τεκμηριωθεί προ της υλοποίησης του έργου.

Ως κατασκευαστές μετρητών νοούνται κατασκευαστές με δική τους σχεδίαση (design) τεχνογνωσία και επαγγελματική εξειδίκευση στη μελέτη, ανάπτυξη, κατασκευή και δοκιμή των προσφερόμενων μετρητών, των οποίων και κατέχουν τα πνευματικά δικαιώματα (IPRs) όχι με άδεια κατασκευής (licensed) από κάποιον τρίτο. 30.000 συσκευές (Οικιακές Οθόνες Απεικόνισης InHomeDisplays IHDs) ικανές για την απεικόνιση ενεργειακών δεδομένων. Διαδικτυακή πύλη καταναλωτή (web portal) για τους πελάτες που θα επιτρέψει την πρόσβαση στα δεδομένα κατανάλωσης ή παραγωγής που θα αντλούνται από τη διάταξη mirror του MDM. Πύλη κινητής (mobile platform) για τους πελάτες που θα επιτρέψει την πρόσβαση στα δεδομένα κατανάλωσης ή παραγωγής που θα αντλούνται από τη διάταξη mirror του MDM. Υποστήριξη για την επικοινωνία μέσω των υποδομών κινητής που θα περιλαμβάνει τις δυνατότητες αποστολής/λήψης μηνυμάτων. 4.300 περίπου τριφασικοί ηλεκτρονικοί μετρητές για σύνδεση μέσω Μ/Σ έντασης (CT) που θα συνοδεύονται με τον αντίστοιχο μετασχηματιστή έντασης κατάλληλης σχέσης μετασχηματισμού και ακρίβειας.

Τα κεντρικά συστήματα του πιλοτικού έργου θα έχουν δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας μετρητικών δεδομένων από καταχωρητές και καμπύλες φορτίου μεταβλητής ολοκλήρωσης και θα διασυνδέονται με υφιστάμενα συστήματα του ΔΕΔΔΗΕ όπως:

- Με το πληροφοριακό σύστημα του ΔΕΔΔΗΕ (ΕΡΜΗΣ) καθώς και με το σύστημα που θα το διαδεχθεί με αμφίδρομη επικοινωνία.
- Το σύστημα **AMR** του ΔΕΔΔΗΕ μεγάλων πελατών ΧΤ.
- Τα συστήματα **SCADA-DMS** των μη διασυνδεδεμένων νησιών και της Αττικής τα οποία πρέπει να λαμβάνουν περιοδικά δεδομένα από τους μετρητές που θα εγκαταστήσει ο ανάδοχος στην έξοδο ΧΤ μετασχηματιστών διανομής ΜΤ/ΧΤ.
- Το Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (GIS). [40]



## HellasGrid Task Force

Με αυτό το όνομα αναφέρουμε μια ομάδα εργασίας για την ανάπτυξη υπηρεσιών καταναλωμένων δικτύων στην κοινωνία της πληροφορίας με στόχο την ανάπτυξη μιας Εθνικής Στρατηγικής και το συντονισμό ομάδων χρηστών για τη διάδοση των παραπάνω τεχνολογιών. Η HellasGrid, που έχει εθνική εμβέλεια, οργανώνει και συνδέει αυτές τις αρχικές προσπάθειες που αναπτύσσονται από την ερευνητική κοινότητα κυρίως σε θέματα eScience, αλλά και να καθοδηγεί τόσο την eBusiness όσο και την ελληνική επιχειρηματική παγκόσμια δημόσια διοίκηση σε θέματα εξυπηρέτησης των πολιτών και ηλεκτρονικής διακυβέρνησης. Σε αυτή την προσπάθεια συναντιούνται το αντίστοιχο δίκτυο ανθρώπινου δυναμικού και η υποδομή της χώρας μας και οργανώνονται σε κόμβο άμεσης επικοινωνίας με αντίστοιχες προσπάθειες στο εξωτερικό.

Τα πιο σημαντικά σημεία αυτής της ομάδας είναι:

- Η εμφάνιση των καταναλωμένων δικτύων υπολογιστικών δικτύων ως βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη εθνικής και διακρατικής έρευνας και συνεργασίας μεταξύ των ερευνητών στην κοινωνία της πληροφορίας.
- Οι κατευθυντήριες γραμμές για το έκτο πρόγραμμα-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την ανάπτυξη δικτύων καταναλωμένων δικτύων υπολογιστών στην κοινωνία της πληροφορίας, καθώς και τις κατευθυντήριες γραμμές των κοινοτικών πρωτοβουλιών e-Europe 2002 και 2005 για το Grid Computing και το World Wide Grid.
- Τη σημασία του στρατηγικού σχεδιασμού και του συντονισμού των δράσεων του δικτύου που μπορούν να χρηματοδοτηθούν από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα "Κοινωνία της Πληροφορίας" σε διάφορους τομείς όπως η έρευνα και η εκπαίδευση.

Ενώ μέχρι στιγμής έχει ιδιαίτερη σημασία:

- Έχει ήδη υποβάλει συγκεκριμένες μελέτες και προτάσεις για συμπερίληψη δράσεων στο IS του IS που προωθούν την ανάπτυξη δικτύων καταναλωμένων δικτύων υπολογιστών.
- Έχει υποστηρίξει και εκπροσώπησε τη χώρα μας διεθνώς σε θέματα δικτύων.
- Έχει σχεδιάσει δράσεις ευαισθητοποίησης σε διαφορετικά επίπεδα, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί σχετική ιστοσελίδα.
- Προκειμένου να δημιουργηθεί μια «βασική πλατφόρμα» των καταναλωμένων υπηρεσιών δικτύου, παρέχει γνώση και παρέχει καθοδήγηση σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη για την ανάπτυξη υποδομών δικτύου. [41]

## Διεθνείς Ερευνητικές Πρωτοβουλίες με Ελληνική Συμμετοχή

Αναμφισβήτητα στη χώρα μας, έχουν γίνει πρόσφατα προσπάθειες για την παρακολούθηση των ευρωπαϊκών και διεθνών εξελίξεων στις τεχνολογίες δικτύων. Αν και υπάρχουν δυσκολίες, το τεχνολογικό χάσμα με τις πιο προηγμένες χώρες σε αυτά τα ζητήματα δεν αποτελεί πια εμπόδιο για συνεργασία με αυτούς και συμμετοχή σε πρωτοβουλίες που οργανώνουν. Συγκεκριμένα, η ερευνητική και επιστημονική κοινότητα έχει έντονο ενδιαφέρον για τις υπηρεσίες δικτύου. Αυτό εκφράζεται με τη συμμετοχή ερευνητικών ομάδων και εταιρειών από την Ελλάδα σε διεθνείς πρωτοβουλίες (Crossgrid, GridLab, Gria, EGEE) με άμεση ή έμμεση στόχευση τεχνολογιών πλέγματος ανοιχτού κώδικα.

Συγκεκριμένα στο Crossgrid υπάρχει ενεργός συμμετοχή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτου στις εφαρμογές Φυσικής Υψηλών Ενεργειών καθώς και της εταιρείας Algosystems που δραστηριοποιείται στον ευρύτερο τομέα των τηλεπικοινωνιών, ενώ αφορά την πρωτοβουλία GridLab επικεντρώνεται στην εφαρμογή ενός γενικού πλαισίου για την ανάπτυξη εφαρμογών σε ένα δίκτυο πλέγματος. Από τη διαπίστωση προέκυψε ότι το δίκτυο πρέπει να απευθύνεται στον τελικό χρήστη που αναπτύσσει εφαρμογές χωρίς αναγκαστικά να τον εμπλέκει στην πολυπλοκότητα της ίδιας της υποδομής του δικτύου. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) συμμετέχει σε αυτό το πρόγραμμα.

Το GRIA δίνει έμφαση στη χρήση του δικτύου σε βιομηχανικά περιβάλλοντα σε επίπεδο εφαρμογής όπως η παραγωγή και επεξεργασία ψηφιακής ταινίας ή η διαρθρωτική ανάλυση. Ως εκ τούτου, εστιάζει στην εξασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών, στην υιοθέτηση προτύπων και ασφάλειας, ενσωματώνοντας την εμπειρία GridLab. [42]

Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε το EGEE. Πρόκειται για το ευρωπαϊκό πλαίσιο για την ανάπτυξη τεχνολογιών δικτύων υπολογιστών πλέγματος. Το EGEE περιλαμβάνει εθνικές ή περιφερειακές (περιφερειακές) προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογιών πλέγματος. Η Hellasgrid εκπροσωπείται μέσω του ΕΔΕΤ, το οποίο συμμετέχει ως εταίρος, αλλά ουσιαστικά θα συμμετέχει σε ολόκληρη την ομάδα εργασίας και έχει δείξει αυξημένη κινητικότητα στον τομέα αυτό. [43]

Τέλος, το SEE-GRID με συντονιστή του ΕΔΕΤ στοχεύει στη δημιουργία ενός ανθρώπινου δικτύου στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης για την προώθηση των τεχνολογιών Grid. Το SEE-GRID θα υλοποιήσει κλίνες δοκιμών πλέγματος σε όλες τις χώρες της περιοχής, με έμφαση στα Δυτικά Βαλκάνια, με στόχο τη σταδιακή ενσωμάτωσή τους σε πανευρωπαϊκές υποδομές σε στενή συνεργασία με το πρόγραμμα EGEE. [44]

## 1.5.1 Το Έργο Έλενα

---

Το Δίκτυο Αειφόρων Νήσων του Αιγαίου (ΔΑΦΝΗ) και το Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου συμμετέχουνε ένα εν εξελίξει πρόγραμμα για έξυπνα δίκτυα σε 5 νησιά του Αιγαίου (Λέσβος, Λήμνο, Κύθνος, Μήλος και Σαντορίνη). Το έργο σε πρώτη φάση χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα ELENA της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μέσω της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων, ενώ η υλοποίηση θα γίνει από τον Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Η εφαρμογή περιλαμβάνει την εγκατάσταση 100.000 έξυπνων μετρητών, την ανάπτυξη Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας και την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα 5 νησιά. Πιο αναλυτικά:

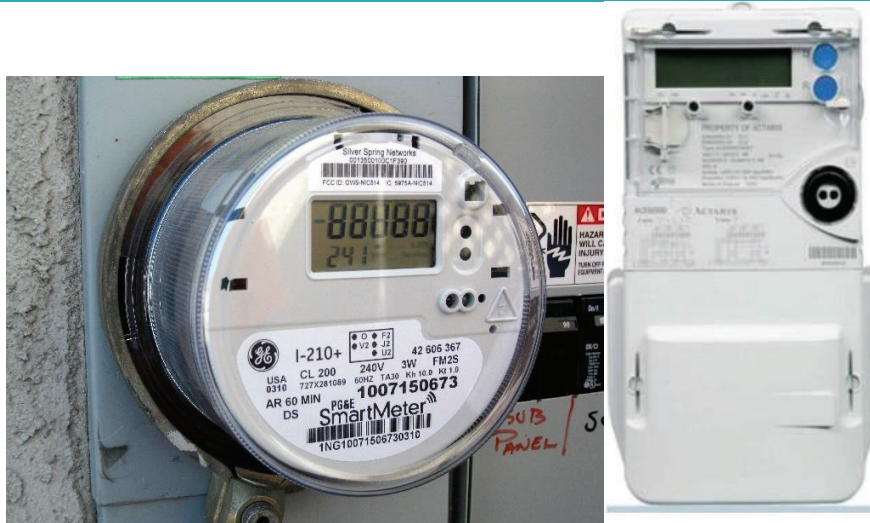
**Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας μη διασυνδεδεμένων νησιών** τα οποία θα επιτελούν και θα υποστηρίζουν μια σειρά από λειτουργίες που καλύπτουν ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα διαχειριστικών υποχρεώσεων, όπως ο προγραμματισμός ένταξης ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής, η κατανομή φορτίου στις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής, ο υπολογισμός των περιορισμών διείσδυσης των μη ελεγχόμενων μονάδων ΑΠΕ, ο έλεγχος του συστήματος παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, λειτουργίες SCADA για το σύνολο του συστήματος παραγωγής, λοιπές λειτουργίες αγοράς κ.α.

**Υποδομές αυτοματοποιημένης συλλογής και διαχείρισης μετρητικών δεδομένων** και μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας (Advanced Metering Infrastructure – AMI), οι οποίες περιλαμβάνουν τη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών και τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας των σταθμών παραγωγής όλων των κατηγοριών και τύπων.

**Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων** αναγκαίοι για τη μελλοντική ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα νησιωτικά δίκτυα.

Ως προς τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη, το έργο αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος, στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω τεχνικών διαχείρισης της ζήτησης και στην αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών. Σήμερα, τα τεχνικά εμπόδια που σχετίζονται με τη σταθερότητα του δικτύου θέτουν όριο για διείσδυση των ΑΠΕ περίπου το 25% της εγκατεστημένης ισχύος. «Υπό αυτές τις συνθήκες, η ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων στα ελληνικά νησιά φαίνεται να συνιστά μια επανάσταση στο ηλεκτρικό σύστημα διανομής, και το όχημα για τη μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των άφθονων ανανεώσιμων ενεργειακών αποθεμάτων τους», δήλωσε ο Ηλίας Ευθυμιόπουλος, Διευθυντής του Ενεργειακού Γραφείου Ίου-Αιγαίου. Ο δικαιούχος της Τεχνικής Βοήθειας ELENA είναι το Δίκτυο Αειφόρων Νήσων του Αιγαίου (ΔΑΦΝΗ), υποστηρικτής των πρωτοβουλιών «Σύμφωνο των Δημάρχων» και «Σύμφωνο των Νήσων». Το Δίκτυο ΔΑΦΝΗ συγχρηματοδοτείται από το πρόγραμμα ELENA για τη φάση της προετοιμασίας του έργου (ωρίμανση), ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ είναι υπεύθυνος για την υλοποίηση του έργου. [45]

## Κεφάλαιο 2 : Έξυπνοι Μετρητές



Σχήμα 6 : Παραδείγματα Έξυπνων Μετρητών

Οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν το βασικό κομμάτι ενός έξυπνου δικτύου που θα παρέχει στους καταναλωτές και τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος συνεχή στοιχεία της κατανάλωσης ρεύματος. Διαφοροποιούνται από τους απλούς ηλεκτρομηχανικούς τόσο ως προς τις νέες δυνατότητες που παρέχουν όσο και από την λογική ενσωμάτωσής τους σε προγράμματα έξυπνης διαχείρισης της ενέργειας. Έτσι διαθέτουν εξειδικευμένο λογισμικό που λειτουργεί μέσα στον μετρητή, επιτρέποντας την συλλογή πληροφοριών όπως διαφόρων μεταβλητών ενέργειας, την καταγραφή χρήσης σε πολλαπλές ταρίφες τιμολόγησης ακόμα και πληροφορίες σχετικά με τυχόν προσπάθειες υποκλοπής ρεύματος. [46]

Βασική τους λειτουργία αποτελεί η μέτρηση, η σύζευξη και ο διαμερισμός των παρεχόμενων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο προσφέροντας στον πελάτη χαμηλότερες χρεώσεις χωρίς να επιβαρύνει ή να επηρεάζει με αρνητικό τρόπο το δίκτυο. Οι πληροφορίες αυτές θα είναι διαθέσιμες τόσο στον πάροχο όσο και στον καταναλωτή χάρις της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ μετρητή και του αυτοματοποιημένου Συστήματος Διαχείρισης Μετρήσεων (MDMS).

Στόχος των έξυπνων μετρητών είναι οι χρεώσεις προς τους καταναλωτές να γίνονται ανάλογα με το κόστος παραγωγής που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στην απελευθερωμένη αγορά οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας με τον έξυπνο μετρητή θα προσφέρουν μειωμένες χρεώσεις κιλοβατώρας (kWh) ή θα κάνουν προσφορές. Έτσι σε περίπτωση αύξησης της τιμής της κιλοβατώρας σε περιόδους αιχμής να μειώνουν την αντίστοιχη ζήτηση με αποτέλεσμα μεγάλο όφελος για τον παραγωγό και τον καταναλωτή. [47]

Επιπλέον ο έξυπνος μετρητής στοχεύει στον γρήγορο εντοπισμό και επίλυσης βλαβών ή επαναφοράς από πιθανό blackout χάρις την αμφίδρομη επικοινωνία με τον πάροχο και το υπόλοιπο δίκτυο.

Σημαντική δυνατότητα του έξυπνου μετρητή αποτελεί η μέτρηση τύπου “ώρα της ημέρας” που επιτρέπει την εναλλαγή του κόστους ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας με βάση το πρόγραμμα κατανάλωσης του χρήστη τις ώρες της ημέρας έχοντας υπόψη την ζήτηση που επικρατεί στο δίκτυο και των ωρών αιχμής.

## Hybrid Drive-By AMR & Fixed Base AMI Systems



Σχήμα 7 : Παράδειγμα επικοινωνίας μεταξύ AMR και AMI συστημάτων

Δυο από τα πιο σημαντικά συστήματα αυτοματοποιημένης μέτρησης σε έξυπνους μετρητές αποτελούν τα **AMR** (Automated Meter Reading) και **AMI** (Advanced Metering Infrastructure) συστήματα.

- Το **AMR** δηλαδή “Σύστημα Συλλογής Μετρήσεων” αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης της ενέργειας που καταναλώνεται τόσο από το παρεχόμενο ρεύμα ηλεκτρικής ενέργειας όσο και από άλλους πόρους παραγωγής παραδείγματος χάρη το φυσικό αέριο και το νερό. Αποτελεί ένα πλήρη αυτοματοποιημένο σύστημα επικοινωνίας και συλλογής ενδείξεων μετρητών, το οποίο επικοινωνεί μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού διαύλου όπως είναι το μόντεμ. Τα συστήματα AMR έχουν την δυνατότητα να απεικονίσουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και ο πελάτης να γνωρίζει με ακρίβεια τι καταναλώνει, τι πληρώνει και επιπλέον έχει την δυνατότητα δημιουργίας ενός ενεργειακού προφίλ. Το προφίλ αυτό έχει σκοπό να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων τόσο με τον εντοπισμό “περιττών” φορτίων όσο και απ’ την μεταφορά φορτίων σε ώρες αιχμής. Επίσης βοηθάει στην ορθή πρόβλεψη φορτίου και την αποδοτικότερη ένταξη των μονάδων παραγωγής. Το σύστημα AMR προσφέρει δυνατότητες χειρισμού φορτίων, ανίχνευσης σφαλμάτων στο δίκτυο και έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος. [48, 47]

- Τα **AMI** δηλαδή “Προηγμένα Συστήματα Μέτρησης” αποτελούνται από υπερσύγχρονα συστήματα Ηλεκτρονικού/Ψηφιακού υλικού και λογισμικού τα οποία συνδυάζουν μέτρηση διαστημάτων με συνεχόμενα διαθέσιμη απομακρυσμένη επικοινωνία. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν λεπτομερείς με βάση το χρόνο μετρήσεις πληροφοριών για την συλλογή τους και την διαβίβαση αυτών των πληροφοριών. Με τα συστήματα AMI το συμβάν διακοπής ρεύματος θα αναφέρεται αυτόματα στον διαχειριστή διανομής μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Ένα πρόγραμμα ανάλυσης διακοπής λειτουργίας θα επεξεργάζεται τα εισερχόμενα μηνύματα, θα προσδιορίζει ακριβώς τη θέση της βλάβης και θα ενημερώνει άμεσα τους καταναλωτές για τον αναμενόμενο χρόνο επισκευής. Επιπλέον με τα διαθέσιμα στοιχεία από τους έξυπνους μετρητές μπορούν να βελτιωθούν λειτουργίες όπως η επαλήθευση των βλαβών, αναγνώριση πολλαπλών διακοπών στο ίδιο κύκλωμα, προσδιορισμός των αγωγών που υπέστησαν βλάβη και επιβεβαίωση της αποκατάστασης. [48, 49]

Τα συστήματα αυτά στηρίζονται πάνω σε ένα AMM/MDM (Αυτοματοποιημένο Σύστημα Διαχείρισης Μετρήσεων) δηλαδή ένα λογισμικό που εκτελεί μακροχρόνια αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων που λαμβάνει από τους έξυπνους μετρητές. Λειτουργία ενός MDM είναι η εισαγωγή δεδομένων, η επικύρωση και στην συνέχεια η εκκαθάριση και επεξεργασία αυτών πριν την διάθεση τους για τιμολόγηση.

Μερικά από τα οφέλη των έξυπνων μετρητών είναι :

- Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο
- Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή
- Διαθεσιμότητα προηγμένων τιμολογιακών πολιτικών εκ μέρους των προμηθευτών
- Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών
- Τιμολόγηση για την πραγματική κατανάλωση ενέργειας
- Δυνατότητα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, νερού και θερμότητας
- Καλύτερη διοίκηση χαρτοφυλακίου
- Καλύτερη αντιμετώπιση ευπαθών ομάδων
- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας
- Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το δίκτυο
- Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος
- Ευελιξία στην τιμολόγηση
- Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων και δυνατότητα απεικόνισης τους σε ψηφιακές συσκευές (smartphone, tablet, apps)
- Υπηρεσίες after-sale
- Δυνατότητα επικοινωνίας μέσω PLC, κινητών δικτύων (3G/4G), ραδιοκυμάτων και άλλα
- Γρηγορότερη αποκατάσταση βλαβών



- **Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο**

Με την χρήση έξυπνων μετρητών πληροφορίες κατανάλωσης, χρηστών, ενημερώσεων και άλλες στέλνονται και λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο για να είναι διαθέσιμες τόσο στον πάροχο και στο σύστημα όσο και στον καταναλωτή.

- **Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας**

Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος σε κάποιο κόμβο γειτονίας ή την ύπαρξη προβλημάτων στο δίκτυο, ο έξυπνος μετρητής αυτομάτως στέλνει την πληροφορία, αναλύει το πρόβλημα και βρίσκει την βέλτιστη λύση σε αυτό επικοινωνώντας με τους κοντινότερους κόμβους για επαναδρομολόγηση της γραμμής δικτύου μέχρι να λυθεί το πρόβλημα.

- **Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή**

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας αλλαγής διευκολύνει μια προηγουμένως χρονοβόρα γραφειοκρατική διαδικασία.

- **Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το δίκτυο**

Ένα μεγάλο όφελος των έξυπνων δικτύων ως προς την πλευρά των παρόχων υπηρεσιών αποτελεί η μείωση του κόστους στο ανθρώπινο δυναμικό, έτσι με την αυτοματοποίηση διαδικασιών ενεργοποίησης / απενεργοποίησης μειώνεται το κόστος.

- **Διαθεσιμότητα προηγμένων τιμολογιακών πολιτικών εκ μέρους των προμηθευτών**

Όπως γνωρίζουμε οι εταιρίες παροχής προσφέρουν μια σειρά τιμολογίων με βάση τα οποία χρεωνόμαστε. Η έλλειψη ακριβείς στοιχείων καθιστούσαν την αλλαγή τιμολογίου απαγορευτική λόγω το ότι δεν ήταν σαφές αν αυτό ήταν συμφέρον. Πλέον, με τις δυνατότητες που μας παρέχονται όπως και τα στοιχεία μας είναι πολύ πιο εύκολη η επιλογή καθώς και η μετάβαση στο τιμολόγιο που εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες μας.

- **Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος**

Η δυνατότητα που έχουν πλέον οι καταναλωτές να παίρνουν και οι ίδιοι μετρήσεις, αυτό αναγκάζει τους διαχειριστές του δικτύου να δείξουν μεγαλύτερη μέριμνα στην βελτίωση του δικτύου διανομής. Αποτέλεσμα αυτού η καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών στον πελάτη.

- **Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών**

Η δυνατότητα που έχουν πλέον οι καταναλωτές να παίρνουν και οι ίδιοι μετρήσεις αναγκάζει τους διαχειριστές του δικτύου να δείξουν μεγαλύτερη μέριμνα στην βελτίωση του δικτύου διανομής. Αποτέλεσμα αυτού είναι η καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών στον πελάτη.

- **Ευελιξία στην τιμολόγηση**

Η ικανότητα των προμηθευτών να γνωρίζουν τα κριτήρια αγοράς των καταναλωτών δίνουν την δυνατότητα για μεγαλύτερη προσαρμογή των πακέτων τιμολόγησης στις ανάγκες του καταναλωτή.

- **Τιμολόγηση για την πραγματική κατανάλωση ενέργειας**

Με τους έξυπνους μετρητές η τιμολόγηση βασίζεται σε πραγματική παρά σε εκτιμώμενη μέτρηση. Αυτό συντελεί στην βελτίωση του επιπέδου υπηρεσιών και κατ' επέκταση σε αυξημένο επίπεδο ικανοποίησης του πελάτη. Επιπροσθέτως οι έξυπνοι μετρητές μας παρέχουν την δυνατότητα απομακρυσμένης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης και έτσι είναι ευκολότερη η αλλαγή εταιρίας παροχής.

- **Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων και δυνατότητα απεικόνισης τους σε ψηφιακές συσκευές**

Με τους έξυπνους μετρητές ο καταναλωτής θα έχει πλήρη έλεγχο στην κατανάλωση ρεύματος χάρη την χρήση ψηφιακών συσκευών συνδεδεμένων με τον έξυπνο μετρητή με δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου, συντήρησης και επιλογών εξοικονόμησης.

- **Δυνατότητα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, νερού και θερμότητας**

Πλέον με κάθε φυσική πηγή ενέργειας που συνδέουμε γνωρίζουμε αυτομάτως την δυνατότητα παραγωγής ρεύματος της για την χρήση της σε έξυπνες λύσεις εξοικονόμησης.

- **Υπηρεσίες after-sale**

Η γνώση του προμηθευτή για τις ενεργειακές συνήθειες του καταναλωτή μπορεί να ωθήσει στην ανάπτυξη υπηρεσιών ώστε ο καταναλωτής να γίνει πιο ενεργειακά 'αποδοτικός'.

- **Καλύτερη διοίκηση χαρτοφυλακίου**

Οι προμηθευτές αποκτούν ένα ακριβές προφίλ της ενεργειακής κατανάλωσης των καταναλωτών τους και μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα την αγορά ενέργειας.

- **Δυνατότητα επικοινωνίας μέσω PLC, κινητών δικτύων (3G/4G), ραδιοκυμάτων και άλλα**

Κύριο χαρακτηριστικό των έξυπνων μετρητών απαιτεί η ευελιξία που παρέχουν όσον αφορά τον τρόπο επικοινωνίας τους.

- **Καλύτερη αντιμετώπιση ευπαθών ομάδων**

Δυστυχώς ακόμα και στην εποχή μας φαινόμενα φτώχειας είναι συνήθη. Παλαιότερα η αντιμετώπιση αυτών των ομάδων που δεν είχαν την ικανότητα να εκπληρώσουν άμεσα τις υποχρεώσεις τους ήταν η διακοπή της ηλεκτροδότησης. Πλέον είναι πιο εύκολο στις εταιρίες να αποστέλλουν προειδοποιητικά σημειώματα και να αποφεύγουν την έσχατη λύση της διακοπής.

- **Γρηγορότερη αποκατάσταση βλαβών**

Ο έξυπνος μετρητής στέλνει απευθείας σήμα στον κεντρικό υπολογιστή μειώνοντας το χρόνο εντοπισμού της βλάβης. Επιπλέον ο διαχειριστής μπορεί να ενημερώσει τους καταναλωτές σε τυχόν περίπτωση βλάβης ή διακοπής ηλεκτροδότησης για καλύτερη παροχή υπηρεσιών.

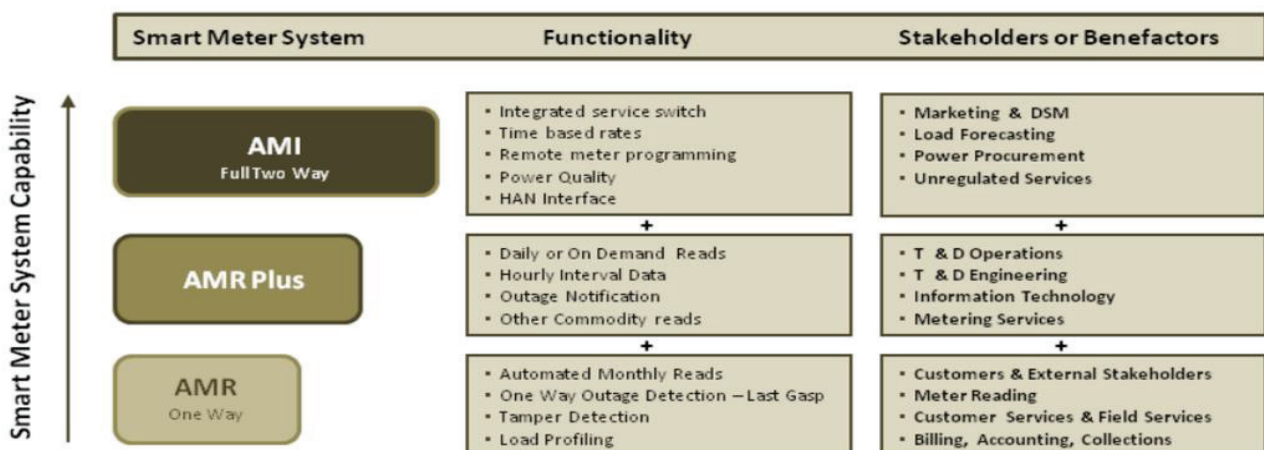


## 2.1 Smart Metering

Η κλιματική αλλαγή, η συνειδητοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, οι νέες τάσεις στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, η σταδιακή μετατροπή των καταναλωτών σε επαγγελματικά προφίλ είναι οι κύριοι παράγοντες της προοδευτικής αλλαγής των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας προς το πρότυπο Smart Grid. Η εισαγωγή πολλαπλών καταναμημένων πόρων παραγωγής και αποθήκευσης, με ισχυρή συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποκαλύπτει την αναγκαιότητα προηγμένων συστημάτων μέτρησης ή Smart Metering, ικανών να διαχειρίζονται και να ελέγχουν αυτούς τους καταναμημένους πόρους. Θα περιγράψουμε τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος Smart Metering και θα συγκεντρώσουμε τις πιο χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και πρότυπα καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Δεδομένου ότι τα συστήματα Smart Metering μπορούν να εκτελούνται από κοινού με άλλες δραστηριότητες, εξετάζονται επίσης αυτές οι αναπτυσσόμενες πρωτοβουλίες. [50]

### Κάνοντας μια Εισαγωγή στο Smart Metering:

Η ανάγκη αντιμετώπισης των ζητημάτων μέτρησης προκύπτει ουσιαστικά ταυτόχρονα με την ανάπτυξη δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας διανομής. Υπάρχει αξιοσημείωτη εξέλιξη από το πρώτο γνωστό ηλεκτρικό μετρητή, το οποίο κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Samuel Gardiner το 1872 [51], το οποίο παρείχε μόνο πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια της ροής ρεύματος, στα σύγχρονα συστήματα, τα οποία είναι σε θέση να παρέχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών και όχι μόνο μέτρησης. Ο πρώτος αυτόματος και εμπορικός απομακρυσμένος μετρητής αποδίδεται στον T. Παρασκευάκο το 1977 [52]. Ωστόσο, η έννοια της απομακρυσμένης μέτρησης δεν πραγματοποιήθηκε στο αναμενόμενο επίπεδο ηλεκτρικής ενέργειας για πολλά χρόνια. Η αλλαγή του κλίματος, η συνειδητοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, οι νέες τάσεις στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και η σταδιακή μετατροπή των καταναλωτών σε πιο δραστήριους παράγοντες προάγουν όχι μόνο τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αλλά και της Distributed Generation (DG) και της Distributed Storage DS), οι οποίες προτρέπουν μια δραματική εξέλιξη του πραγματικού μοντέλου ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 8 : Εξέλιξη της έξυπνης μέτρησης

Η εξέλιξη προς ένα μοντέλο δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας ικανό να διαχειρίζεται πολλές συσκευές παραγωγής και αποθήκευσης με αποδοτικό και αποκεντρωμένο τρόπο καθορίζει τον πυρήνα της ιδέας του Smart Grid, καθιστώντας την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων μέτρησης ή Smart Metering μία από τις βασικές τεχνικές για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στην οδηγία 2012/27/EK, όρισε ένα έξυπνο σύστημα μέτρησης ή ευφυούς μετρητικού συστήματος ως «ένα ψηφιακό σύστημα που μπορεί να μετρά την κατανάλωση ενέργειας, παρέχοντας περισσότερες πληροφορίες από ένα συμβατικό μετρητή και μπορεί να μεταδίδει και να λαμβάνει δεδομένα χρησιμοποιώντας μια μορφή ψηφιακής επικοινωνίας». [53]

Όσον αφορά την επικοινωνία, οι επικοινωνίες Μηχανή προς Μηχανή (M2M) συμβαίνουν σε συσκευές με δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα που βασίζονται σε γεγονότα αποστέλλονται μέσω του καναλιού επικοινωνίας (ενσύρματα ή ασύρματα) στους διακομιστές που είναι υπεύθυνοι για την εξαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή απαντήσεων. Επομένως, οι δυνατότητες του M2M είναι καθοριστικές για την απόδοση Smart Metering, καθώς επιτρέπουν την απαιτούμενη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ σημείων κατανάλωσης και κέντρων παρακολούθησης και ελέγχου. [54]

Εκτός από τις δυνατότητες ελέγχου και διαχείρισης που παρέχει η εφαρμογή Smart Metering, τα ληφθέντα δεδομένα μέτρησης μαζί με πρόσθετες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα αυτοματοποιημένα συστήματα για να οδηγήσουν σε νέες εφαρμογές, όπως συστήματα πρόβλεψης και διαχείρισης φορτίου.

## 2.1.1 Τάσεις Των Έξυπνων Συστημάτων Μέτρησης

---

Η πλευρά μέτρησης του συστήματος διανομής αποτέλεσε το επίκεντρο των πιο πρόσφατων επενδύσεων σε έργα υποδομής. Οι πρώτες προσπάθειες μέτρησης της αυτοματοποίησης ή της αυτοματοποιημένης ανάγνωσης μετρητών (AMR), επέτρεψαν στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να διαβάσουν από απόσταση τις εγγραφές κατανάλωσης και τις βασικές πληροφορίες κατάστασης από τις εγκαταστάσεις των πελατών. [55] Λόγω του συστήματος επικοινωνίας μονής κατεύθυνσης. Η AMR περιορίζεται σε απομακρυσμένη ανάγνωση και δεν μπορεί να εκτελέσει πρόσθετες εφαρμογές, οι οποίες ώθησαν τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να κινηθούν προς την υποδομή Smart Metering ή Advanced Metering Infrastructure (AMI). Το Smart Metering παρέχει υπηρεσίες κοινής ωφέλειας με αμφίδρομη επικοινωνία στον μετρητή αλλά και την ικανότητα αξιολόγησης της κατάστασης του δικτύου. Τα πρόσφατα συστήματα Smart Metering, εξοπλισμένα με βελτιωμένη αρχιτεκτονική, σε συνδυασμό με έξυπνους αισθητήρες και πιο εξελιγμένη τεχνολογία κατανομής ελέγχου, επιτρέπουν στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να εκτελούν έλεγχο και διαχείριση δικτύου. [56]

## 2.1.2 Αρχιτεκτονική Ενός Συστήματος Smart Metering

---

Ένα σύστημα Smart Metering συνεπάγει την ανάπτυξη μιας ετερογενούς υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των μετρητικών συσκευών, των δικτύων επικοινωνίας και των συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, καθώς και των σχετικών καθηκόντων διαχείρισης και εγκατάστασης. Ένα σύστημα Smart Metering βασίζεται σε τέσσερις βασικούς πυλώνες:

- Μια έξυπνη συσκευή μέτρησης, Smart Meter (SM)
- Συσκευή συλλογής δεδομένων, Συγκέντρωση δεδομένων (DC)
- Ένα σύστημα επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για τη ροή δεδομένων
- Κεντρικό σύστημα διαχείρισης και ελέγχου, Κέντρο Ελέγχου (CC)

Τα συστήματα Smart Metering αποτελούν ετερογενείς αναπτύξεις με διαφορετικές απαιτήσεις και χαρακτηριστικά, δεδομένου ότι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την προβλεπόμενη χρήση. Επιπλέον, διαφορετικοί τύποι μετρήσεων μπορούν να βρεθούν στο ίδιο σύστημα Smart Metering. Μπορούν να διαφοροποιηθούν τρεις κύριες ομάδες μέτρησης: i) **Κατ' απαίτηση**: μετρούμενες ροές δεδομένων από τα σημεία κατανάλωσης προς τα CC κατά συγκεκριμένο αίτημα της χρησιμότητας όταν χρειάζεται. (ii) **Προγραμματισμένες**: μετρημένες ροές δεδομένων από τα σημεία κατανάλωσης στα Κέντρα Ελέγχου (CC) με προκαθορισμένα καθήκοντα και τέσσερις έως έξι φορές την ημέρα ανά μέτρο, και (iii) **Χύμα**: το βοηθητικό πρόγραμμα συλλέγει πληροφορίες μέτρησης από όλες τις συσκευές αρκετές φορές την ημέρα. [57]

## 2.1.3 Ανάλυση Λειτουργιών Έξυπνων Μετρητών

---

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη του Smart Meter (SM) βασίζεται στην εισαγωγή αμφίδρομων δυνατοτήτων και στην προοδευτική εμφάνιση νέων εφαρμογών. Οι αμφίδρομες δυνατότητες πρέπει να γίνονται κατανοητές από δύο διαφορετικές απόψεις: **ενέργεια** (ροές ενέργειας προς/από την κατανάλωση παραγωγής, κυρίως λόγω των στοιχείων του DG, του DS και των προσφευγουσών) και της **επικοινωνίας** (τα δεδομένα μετακινούνται από τα SM στη CC. Το CC μπορεί επίσης να επικοινωνήσει μαζί τους, καθώς το SM περιλαμβάνει έναν ενσωματωμένο κόμβο επικοινωνίας, εντός ενός διαμορφώσιμου και πολυλειτουργικού δικτύου). Ένα SM μπορεί να παρουσιάσει ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών. Παρόλο που δεν υπάρχει οδηγία ή κανόνας που να τις ορίζει ως προς την ποσότητα ή τη λειτουργικότητα, διάφορα όργανα έχουν θεσπίσει ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές.

Η ευρωπαϊκή βιομηχανία ευφυών μετρητών (ESMIG) μείωσε τα ελάχιστα χαρακτηριστικά ενός SM στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- Απομακρυσμένη ανάγνωση
- Αμφίδρομη επικοινωνία
- Υποστήριξη προηγμένων τιμολογίων και εφαρμογών χρέωσης
- Έλεγχος απομακρυσμένης παροχής ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, η Ευρωπαϊκή Ένωση επεκτείνει τις ελάχιστες επιθυμητές απαιτήσεις για ένα SM ηλεκτρικής ενέργειας όπως δημοσιεύθηκε στη σύσταση 2012/148/ΕΕ, που περιγράφεται στον πίνακα 2.

<b>2012/148/EU Recommendation</b>
<b>Consumer</b>
Provide readings directly to the consumer and/or any third party.
Update the readings frequently enough to use energy saving schemes.
<b>Metering Service Operator</b>
Allow remote reading by the operator.
Provide bidirectional communication for maintenance and control.
Allow frequent enough readings to be used for networking planning.
<b>Commercial Service Issues</b>
Support advanced tariff system.
Allow remote ON/OFF control supply and/or flow or power limitation.
<b>Security and Data Protection</b>
Provide secure data communications.
Fraud prevention and detection.
<b>Distributed Generation</b>
Provide consumed, generated, and reactive metering data.

Πίνακας 2 : Ελάχιστες απαιτήσεις για SMs σύμφωνα με τις συστάσεις 2012/148 / ΕΕ.

## 2.1.4 Συγκεντρωτής Δεδομένων

Η κύρια λειτουργία του DC είναι η συγκέντρωση μετρητικών δεδομένων από τα SM. Επιπλέον, οι DC είναι συνήθως ο κύριος κόμβος ενός υποδικτύου επικοινωνίας που σχηματίζεται από τον ίδιο και ένα σύνολο SM, πράγμα που σημαίνει ότι περιλαμβάνουν επίσης έναν ενσωματωμένο κόμβο επικοινωνίας. Τα DC συνήθως βρίσκονται μέσα στους μετασχηματιστές ισχύος και τους υποσταθμούς. Οι σύγχρονες μονάδες συνεχούς ρεύματος περιλαμβάνουν επίσης πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως η παρακολούθηση χαμηλής τάσης (LV), καθώς περιλαμβάνουν ενσωματωμένο SM. [58]

## 2.1.5 Σύστημα Επικοινωνίας

---

Η διαβίβαση των δεδομένων πρέπει να διασφαλίζεται από άποψη ποιότητας, χρόνου και ασφάλειας. Συνεπώς, οι τεχνολογίες επικοινωνίας διαδραματίζουν βασικό ρόλο, καθώς πρέπει να είναι οικονομικά αποδοτικές και να παρέχουν καλές δυνατότητες κάλυψης, χαρακτηριστικά ασφαλείας, εύρος ζώνης και ποιότητα ισχύος με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό επαναλήψεων. Οι επικοινωνίες στα ηλεκτρικά δίκτυα έχουν εξελιχθεί από συστήματα επικοινωνίας μονής κατεύθυνσης και ακτινικής τοπολογίας σε αμφίδρομα συστήματα με τοπολογία δικτύου. [59]

## 2.1.6 Κέντρο Ελέγχου

---

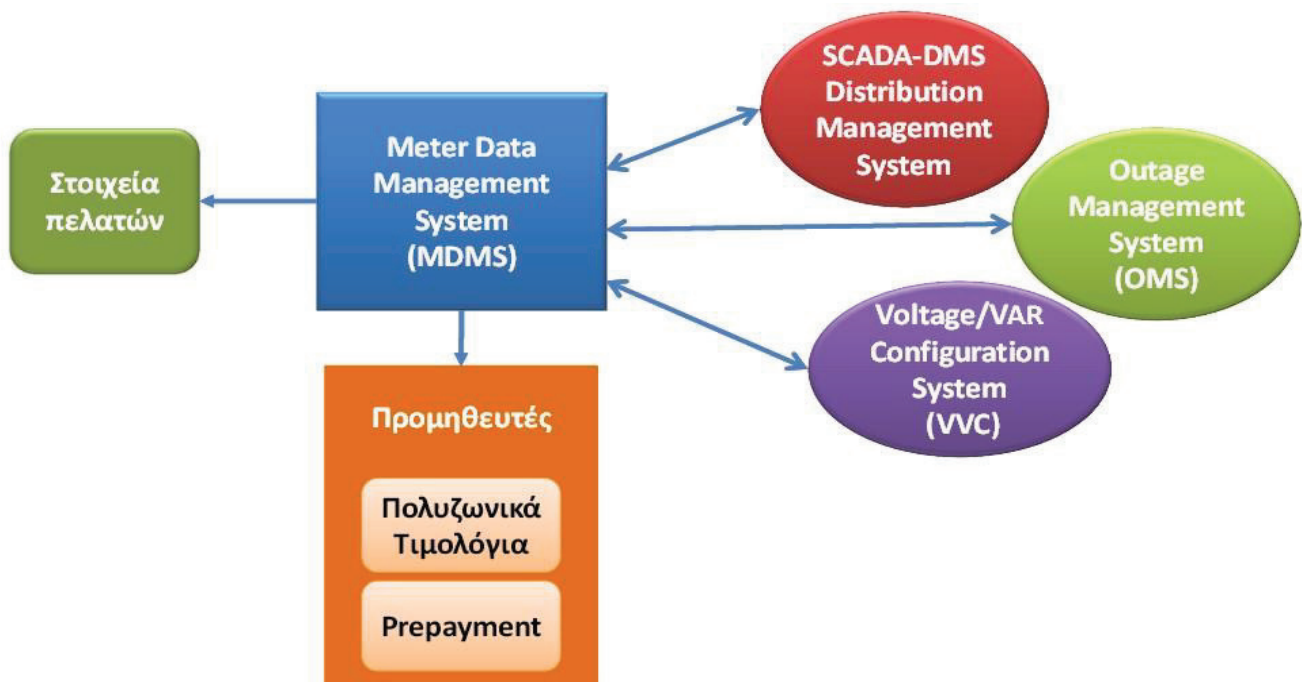
Το CC ή το Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων (DMS) είναι υπεύθυνο για τη λήψη και την αποθήκευση των δεδομένων μέτρησης για σκοπούς επεξεργασίας.

Το κέντρο ελέγχου μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αρθρωτό σύστημα που διαμορφώνεται από το Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων Μετρητών (MDMS), το οποίο διαχειρίζεται τα δεδομένα μέτρησης και πρόσθετα δευτερεύοντα υποσυστήματα που είναι υπεύθυνα για εφαρμογές τελικών χρηστών, συστήματα πρόγνωσης καιρού, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, εφαρμογές ελέγχου Διαχείριση φορτίου, μεταξύ άλλων.

Το MDMS περιλαμβάνει τα εργαλεία που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ενοτήτων, καθώς και την ευθύνη επικύρωσης, μεταποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων μέτρησης για κατάλληλη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων μερών του συστήματος Smart Metering. [60]

Οι τεχνολογίες CC έχουν εξελιχθεί με την προοδευτική αύξηση των δυνατοτήτων των συστημάτων Smart Metering από απλούς μεταγλωτιστές δεδομένων και συσκευές αποθήκευσης σε πιο εξελιγμένα συστήματα ικανά να λαμβάνουν αποφάσεις και να διαχειρίζονται ολόκληρο το σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Τα παραγόμενα δεδομένα από τις μετρήσεις είναι ένας πολύτιμος πόρος για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, δεδομένου ότι είναι σε θέση να κάνουν ένα ευρύ φάσμα προβλέψεων (διαθέσιμη ενέργεια, πιθανότητα διακοπής ρεύματος, προβλέψεις κατανάλωσης πελατών).

Η αξιοποίηση των πληροφοριών από SM και SGs απαιτεί όλο και περισσότερο την αντιμετώπιση των λεγόμενων Big Data. [61]



Σχήμα 9 : Παράδειγμα δυνατοτήτων λειτουργίας ενός Κέντρου Ελέγχου MDMS

## 2.1.7 Εφαρμογές Smart Metering

Εκτός από τη διαχείριση και τον έλεγχο, η εφαρμογή ενός συστήματος Smart Metering επιτρέπει σε πολλές εφαρμογές που ενώνουν τα δεδομένα μέτρησης μαζί με πρόσθετες πληροφορίες και άλλες συσκευές από τις οποίες θα ωφεληθούν οι εταιρείες κοινής ωφέλειας και οι τελικοί χρήστες. Τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται υπό εξέλιξη και σημειώνουν αξιοσημείωτη ανάπτυξη από το 2006 [62].

### •Ποιότητα σήματος ηλεκτρικής ενέργειας:

Στα παραδοσιακά δίκτυα διανομής ισχύος, οι συσκευές ελέγχου βρίσκονται αποκλειστικά στους υποσταθμούς. Ωστόσο, με την προοδευτική εισαγωγή του SG, η πολυπλοκότητα και ο αριθμός των απαιτούμενων ελεγχόμενων περιουσιακών στοιχείων αυξάνονται και απαιτούνται πιο λεπτομερείς, κατανομημένες και συχνές πληροφορίες ελέγχου. Οι δυνατότητες SMS σε μετρήσεις τάσης σε πραγματικό χρόνο και η επικοινωνία μεταξύ των καταναλωτών και των ελεγκτών δικτύου είναι δυναμικοί παράγοντες κλειδιά στον έλεγχο της τάσης. Αρκετά έργα που υλοποιούν τεχνικές ελέγχου τάσης περιλαμβάνουν SMS στις λύσεις τους. [63]



#### •Έλεγχος DG και DS:

Ο έλεγχος και η διαχείριση της DG, ιδίως όσον αφορά τις ΑΠΕ, είναι πιο περίπλοκη από τις συμβατικές πηγές λόγω της λιγότερο προβλέψιμης συμπεριφοράς και της διαθεσιμότητάς τους. Αυτές οι αβεβαιότητες παρεμποδίζουν τις λειτουργίες του CC και αποτελούν εμπόδιο για τους καταναλωτές εν γένει. Τα SG μπορούν να βοηθήσουν σε αυτά τα θέματα παρέχοντας ακριβή, συχνά ενημερωμένα και πραγματικού χρόνου δεδομένα παραγωγής και χρέωσης / εκφόρτωσης από τη DG και το DS αντίστοιχα, τα οποία μπορούν να διευκολύνουν τα καθήκοντα των CC και να προωθήσουν την εισαγωγή των ΑΠΕ στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

#### •Τιμολόγηση:

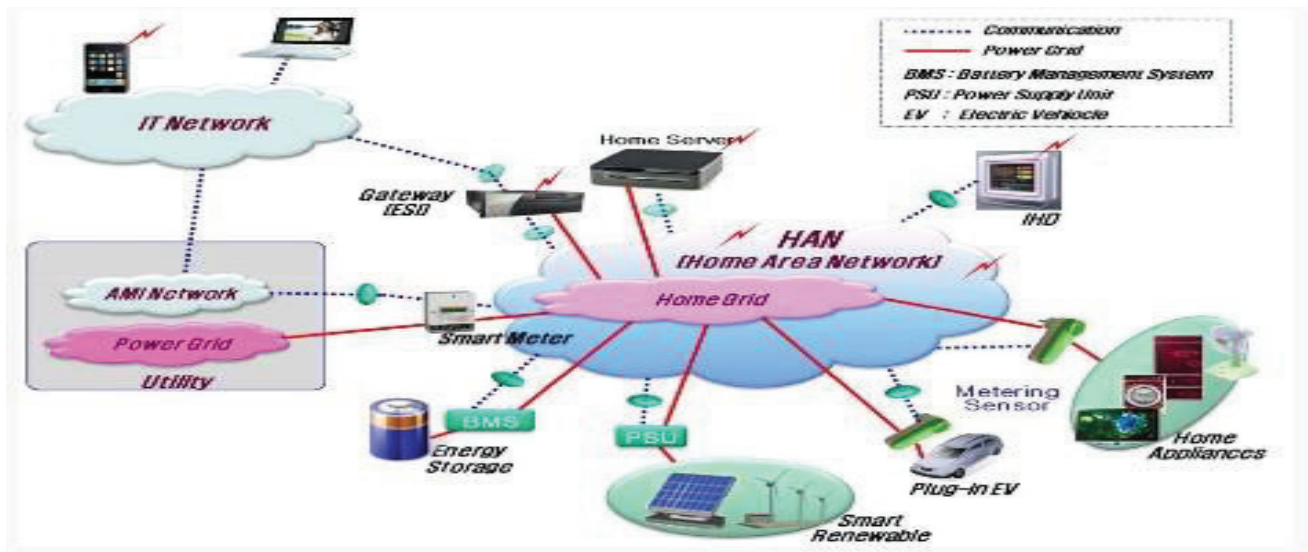
Τα συστήματα Smart Metering είναι απαραίτητα στις εφαρμογές χρέωσης. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις λαμβάνουν το κόστος των τελών σε πραγματικό χρόνο, εκ των προτέρων ή μέσω προκαθορισμένων τιμολογίων και στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος της παρεχόμενης ενέργειας. Επιπλέον, τα SM μπορούν να κόψουν ή να αποκαταστήσουν εξ' αποστάσεως την τροφοδοσία ρεύματος αν χρειαστεί. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές χρέωσης είναι η τιμολόγηση ανάλογα με τον χρόνο χρήσης, την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και την τιμολόγηση που βασίζεται στην κατανάλωση αιχμής. [57]

#### •Απόκριση ζήτησης:

Ο δυναμικός συντονισμός της καμπύλης κατανάλωσης ισχύος των τελικών χρηστών στο πλαίσιο των υφιστάμενων συνθηκών παροχής ή της απόκρισης ζήτησης (DR) συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα του συστήματος. Επιπλέον, το DR παρέχει στους καταναλωτές τη δυνατότητα να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου μειώνοντας ή μετατοπίζοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής, ανταποκρινόμενοι σε χρονοδιαγράμματα ή άλλες μορφές οικονομικών κινήτρων. Τέτοια προγράμματα μπορούν να μειώσουν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στις αγορές χονδρικής πώλησης και, με τη σειρά τους, να οδηγήσουν σε χαμηλότερα επιτόκια λιανικής. [64]

#### •Εφαρμογές HAN:

Ο ρόλος της Smart Metering στις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη είναι πολύ ελπιδοφόρος. Από τα δεδομένα μέτρησης, οι καταναλωτές μπορούν να γνωρίζουν και να ελέγχουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, αναδύεται ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, όπως η κατανάλωση προφίλ, ο έλεγχος φορτίου, η απομακρυσμένη εναλλαγή συσκευών στο σπίτι και η παρακολούθηση απομακρυσμένης κατανάλωσης. Παρόλα αυτά, ορισμένοι υπεύθυνοι ενέργειας αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην προοδευτική ανάπτυξη του τριπλού παιχνιδιού (συρροή του ήχου, του βίντεο και της πρόσβασης στο Διαδίκτυο). [65]



Σχήμα 10 : Συμβατότητα εφαρμογών και συστημάτων σε ένα δίκτυο HAN

#### •Τεχνικές καταπολέμησης της απάτης:

Η παράκαμψη ή διατάραξη της εσωτερικής απόδοσης ενός SM και η χρήση μεθόδων για την αποφυγή πληρωμής ηλεκτρικού λογαριασμού θεωρούνται ως ηλεκτρικές απάτες. Πολλές χώρες αναπτύσσουν τεχνικές καταπολέμησης της απάτης μέσω συστημάτων Smart Metering. [66]

## 2.2 Machine To Machine (M2M)

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε ορισμένες από τις συνεχιζόμενες εργασίες τυποποίησης στις επικοινωνίες M2M που ακολουθούνται από την εφαρμογή επικοινωνιών μηχανής προς μηχανή (M2M) σε έξυπνο δίκτυο. Αναλύουμε και συζητούμε τις τεχνολογίες που επιτρέπουν το M2M και παρουσιάζουμε μια επισκόπηση των προκλήσεων στις επικοινωνίες και των ερευνητικών ευκαιριών με έμφαση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και στις εφαρμογές τους σε περιβάλλον έξυπνου δικτύου.

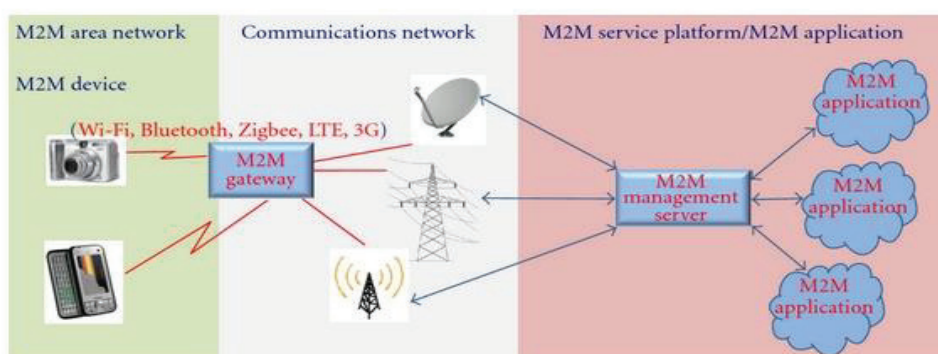
Για παράδειγμα, η έξυπνη μέτρηση στο M2M μπορεί να διευκολύνει την ευέλικτη διαχείριση της ζήτησης, όπου ένας έξυπνος μετρητής (SM) είναι μια αμφίδρομη συσκευή επικοινωνίας που μετρά την κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, νερό ή θερμότητα) και ανακοινώνει αυτές τις πληροφορίες μέσω κάποιων μέσων επικοινωνίας την τοπική χρησιμότητα. Με σχεδόν διαθέσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, για παράδειγμα με βάση τη ροή ενέργειας στο δίκτυο, μπορούν να υπολογιστούν διαφορετικά επίπεδα τιμολογίων και να διατεθούν για τον καταναλωτή, ο καταναλωτής μπορεί να κάνει μια πιο έξυπνη και πιο υπεύθυνη επιλογή.

Επομένως, οι πληροφορίες που παράγει το SM λειτουργούν ως "κόλλα" που επιτρέπουν σε διάφορα συστατικά του SG να συνεργάζονται αποτελεσματικά. Υπάρχουν επίσης διάφορα μεγάλης κλίμακας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και ενεργοποιητών (WSAN) που αναπτύσσονται σε SG (όπως η παραγωγή ηλεκτρικού συστήματος ή οικιακές εφαρμογές) προκειμένου να εκτελεστεί η εργασία παρακολούθησης. Αυτά τα WSAN με συνεργατική και αυτοθεραπευτική φύση έχουν σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση ορισμένων από τις λειτουργίες που απαιτούνται στα SG. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει και το κυψελοειδές M2M, όπου η κυψελοειδής τεχνολογία παίζει σημαντικό ρόλο στις επικοινωνίες M2M λόγω της καλής κάλυψης, των υποσχόμενων ρυθμών δεδομένων για πολλές εφαρμογές. [67]

Υπάρχουν επί του παρόντος διάφορες δραστηριότητες τυποποίησης στις επικοινωνίες M2M με συνειδητή προσπάθεια να παραχθεί ένα εναρμονισμένο σύνολο ευρωπαϊκών προτύπων. Οι προκλήσεις και οι ευκαιρίες που παρουσιάζουν τα έξυπνα συστήματα μέτρησης και τα έξυπνα δίκτυα στα δίκτυα επικοινωνιών είναι σημαντικές και περιλαμβάνουν τη διαλειτουργικότητα, την επεκτάσιμη δικτύωση, τα κλιμακούμενα δίκτυα επικάλυψης και την οικιακή δικτύωση με δυνητικά πολύ μεγαλύτερο αριθμό συσκευών και συσκευών. Οι πτυχές ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής είναι επίσης εξαιρετικά σημαντικές δεδομένων του μεγάλου αριθμού ιδιωτικών δεδομένων που μπορούν να εκτεθούν από την έξυπνη μέτρηση μόνο.

### Αρχιτεκτονική και Τοπολογία M2M

Το M2M είναι αναμφισβήτητα ένας συνδυασμός διαφόρων ετερογενών ηλεκτρονικών, επικοινωνιακών και λογισμικών τεχνολογιών. Η γενική αρχιτεκτονική των δικτύων M2M όπως αυτά που καθορίζονται στην ETSI TC (τεχνική επιτροπή) M2M παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11 : Παράδειγμα επικοινωνίας μεταξύ M2M

Άλλες πιο λεπτομερείς πληροφορίες για την αρχιτεκτονική M2M μπορούν να προκύψουν από τις συνεχιζόμενες εργασίες στο ETSI TC M2M. Σε σχέση με αυτή την αρχιτεκτονική, οι συσκευές M2M (έξυπνες και ενεργοποιημένες επικοινωνίας) σχηματίζουν ένα δίκτυο περιοχής M2M.

Αυτό θα μπορούσε να είναι από ένα περιβάλλον κατοικίας μικρής κλίμακας σε ένα μεγαλύτερο περιβάλλον όπως ένα εργοστάσιο. Το δίκτυο περιοχής M2M συνδέεται με το δίκτυο επικοινωνίας, όπως οι σταθμοί δορυφόρων, ηλεκτρικών γραμμών ή κινητών σταθμών, μέσω της πύλης M2M. Μέσω των δικτύων επικοινωνίας, συνδέονται με το διακομιστή διαχείρισης M2M στην πλατφόρμα υπηρεσιών M2M και στη συνέχεια φτάνουν στις εφαρμογές M2M (βίντεο για παρακολούθηση, online κοινωνική δικτύωση κλπ.) στην άλλη πλευρά του εξυπηρετητή διαχείρισης M2M.

### **Εφαρμογές στο σπίτι και έξυπνα κτίρια**

Τα ασύρματα οικιακά δίκτυα (ή τα οικιακά δίκτυα) γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή και εξελίχθηκαν από υπολογιστές μόνο σε όλους τους τύπους ηλεκτρονικών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών συσκευών και συστημάτων οικιακής ψυχαγωγίας όπως οι τηλεοράσεις και ο ήχος. Οι γενικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τις συσκευές ελέγχου φωτισμού, θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), οι οποίες απαιτούν WSN για να υποστηρίξουν την παρακολούθηση και να λειτουργήσουν ως υποδομή ασύρματων επικοινωνιών. Επιπλέον, παρέχουν επίσης έναν τρόπο ανίχνευσης διακυμάνσεων και διακοπών ρεύματος. Επιτρέπει επίσης στους πελάτες να ελέγχουν εξ αποστάσεως τον μετρητή (όπως ενεργοποίηση και απενεργοποίηση), επιτρέποντας εξοικονόμηση κόστους και αποτρέποντας την κλοπή ηλεκτρικού ρεύματος. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν ανταπόκριση στη ζήτηση και φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα έξυπνα κτίρια, όπως τα γραφεία, βασίζονται σε ένα σύνολο τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της άνεσης των χρηστών καθώς και για την παρακολούθηση και την ασφάλεια του κτιρίου. Η τεχνολογία M2M και το WSN χρησιμοποιούνται στο σύστημα διαχείρισης κτιρίων για φωτισμό, HVAC, ανίχνευση κενών γραφείων και στη συνέχεια απενεργοποίηση συσκευών όπως οθόνες και συστήματα ασφαλείας και πρόσβασης.

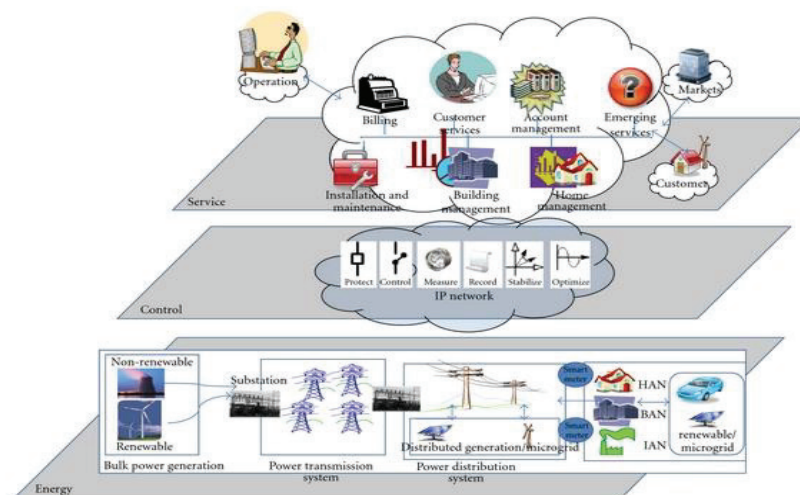
Η βασική απαίτηση των συσκευών M2M σε περιβάλλον κατοικίας και γραφείου είναι η πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος τους, έτσι ώστε πολλές συσκευές να μπορούν να διαρκέσουν χρόνια χωρίς να απαιτείται αντικατάσταση της μπαταρίας. Με το ευρύ φάσμα οικιακών συσκευών / συσκευών γραφείου που πρέπει να συνδεθούν σε δίκτυο, υπάρχει ανάγκη υποστήριξης πολλών διαφορετικών φυσικών συνδέσεων. Μεταξύ όλων των διαφορετικών τεχνολογιών δικτύωσης, το Ethernet, το 802.15.4, το Wi-Fi, το Bluetooth, οι επικοινωνίες ηλεκτρικής γραμμής και τα κινητά έχουν όλα μια θέση στο περιβάλλον δικτύωσης στο σπίτι. Το οικιακό δίκτυο M2M θα πρέπει να υποστηρίζει όλους τους διαφορετικούς φυσικούς συνδέσμους και τις στοίβες πρωτοκόλλων μέσω της πύλης M2M.

Η πύλη πρέπει επίσης να είναι σε θέση να συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με το ποια ενεργειακά μέσα είναι διαθέσιμα στις συσκευές M2M (οι οποίες είναι συνήθως εξοπλισμένες με περιορισμένους πόρους) και να αποφασίσει πώς να διαδίδει τα δεδομένα με τρόπο που να βελτιστοποιεί τους πόρους.

Γενικά, οι δυνατότητες πύλης περιλαμβάνουν τη δρομολόγηση, τη μετάφραση διεύθυνσης δικτύου (NAT), τον έλεγχο ταυτότητας, την κατανομή πόρων και ούτω καθεξής. Άλλες πιο πολύπλοκες υπηρεσίες ή δυνατότητες της πύλης M2M είναι οι συνεχιζόμενες εργασίες στο TC M2M που ασχολούνται με την προσβασιμότητα της πύλης, την αντιμετώπιση και αποθεματοποίηση, την επικοινωνία, τη διαχείριση απομακρυσμένων οντοτήτων, την ασφάλεια, την ιστορία και τη διατήρηση δεδομένων, τη διαχείριση συναλλαγών, τη διαμεσολάβηση πληρεξουσίου και την χρηματιστηριακή αποζημίωση.

### M2M στο έξυπνο δίκτυο: Σενάρια και απαιτήσεις M2M σε SG

Με τις διάφορες λειτουργίες που θα μπορούσε να προσφέρει ένα σύστημα M2M, θεωρήθηκε ως μία από τις βασικές λύσεις ICT για την υλοποίηση του SG. Σε αυτή την ενότητα, πρώτα απ' όλα, εξετάζουμε τη βασική αρχιτεκτονική για το SG και τον τρόπο με τον οποίο σχετίζεται η αρχιτεκτονική M2M. Ακολουθεί η συζήτηση δύο σημαντικών σεναρίων M2M και η εξέταση των συναφών εφαρμογών με το WSN. Η κατανόηση αυτή είναι απαραίτητη όταν πρέπει να αναπτυχθούν λεπτομερέστερες λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, εξετάζουμε τον τρόπο με τον οποίο το WSN διαδραματίζει βασικό ρόλο στην παροχή εφαρμογών M2M σε ένα περιβάλλον SG.



Σχήμα 12 : Πλατφόρμα ETSI για τα επίπεδα τηλεπικοινωνιών Smart Grid

Το σχήμα δείχνει την πλατφόρμα ETSI (European Telecommunications Standards Institute) αρχιτεκτονικής διευθυντών για SG που αποτελείται από τρία κύρια επίπεδα: Το επίπεδο 1, το



ενεργειακό επίπεδο χειρίζεται την ενέργεια που σχετίζεται με την παραγωγή, τη διανομή, τη μετάδοση και την κατανάλωση, συνεπώς περιλαμβάνει μια μεγάλη ποσότητα αισθητήρων, συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, συστήματα μετάδοσης και διανομής. Αυτή η στρώση αντιστοιχεί στο δίκτυο της περιοχής M2M (συσκευή) σε δίκτυα M2M.

Το επίπεδο 2 είναι το στρώμα ελέγχου και σύνδεσης που συνδέει το ενεργειακό επίπεδο με το επίπεδο εξυπηρέτησης. Αυτό αφορά το στρώμα δικτύου επικοινωνιών M2M. Το επίπεδο 3 είναι το στρώμα υπηρεσιών που παρέχει όλες τις υπηρεσίες που σχετίζονται με SG. Αυτό σχετίζεται με το επίπεδο υπηρεσιών M2M στην αρχιτεκτονική δικτύου M2M. Η εφαρμογή αρχιτεκτονικής M2M στα δίκτυα SG θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω ή να τυποποιηθεί. Πρόσφατα η WSAAN κερδίζει δημοτικότητα, παίρνοντας τον τίτλο της υποσχόμενης τεχνολογίας που μπορεί να ενισχύσει διάφορες πτυχές των σημερινών συστημάτων. Ταυτόχρονα, το WSAAN έχει επίσης μερικά εγγενή πλεονεκτήματα έναντι άλλων συμβατικών τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως η κάλυψη ευρείας περιοχής και η προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες δικτύου. Ωστόσο, διαφορετικά περιβάλλοντα θέτουν διαφορετικές προκλήσεις στο WSAAN. Για παράδειγμα σε ένα σκληρό και σύνθετο περιβάλλον ηλεκτρικής ενέργειας, η επικοινωνία WSAAN σε εφαρμογές SG αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία της επικοινωνίας, την ευρωστία και την αντοχή σφάλματος. [68]

## 2.3 Ενσύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνίας

Οι ενσύρματες τεχνολογίες, όπως οι οπτικές ίνες και το BPL (Broadband over Power Lines), μπορεί να προτιμηθούν από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όταν είναι ήδη διαθέσιμες στις εξυπηρετούμενες περιοχές και όταν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επίδοσης. Βέβαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επικοινωνιακών δικτύων και αφιερωμένα καλώδια που είναι διαφορετικά από τις ηλεκτρικές γραμμές. Αυτά τα ειδικά αφιερωμένα δίκτυα απαιτούν επιπλέον επένδυση για την εγκατάσταση των καλωδίων, αλλά μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερη καθυστέρηση για την επικοινωνία. Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, τα ενσύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν τα SONET/SDH, Ethernet, DSL και ομοαξονικού καλωδίου δίκτυα πρόσβασης.

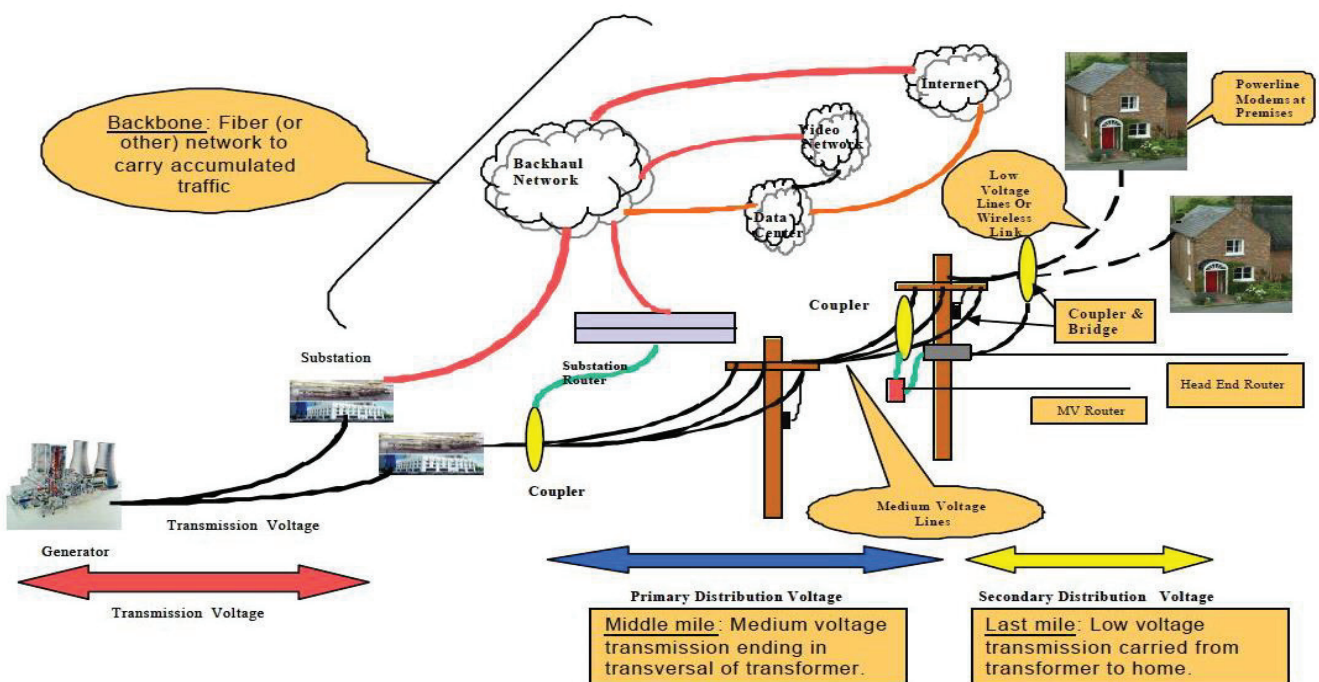
Technology	Pros & Cons	Distance	Data Rate	Terminal Cost	Infrastructure Cost	Robustness (to interference or tampering or wear)	Maturity
Ethernet - Wired		<100m	>100Mb/s	Medium	High	Medium	High
Zigbee 2.4GHz - RF		<100m	<250kb/s	Medium	Low	Low	High
HomePlug GP - Wired		<300m	<14Mb/s	High	Medium	High	Low
802.15.4/WMBUS Sub-G Hz - RF		>300m	<100kb/s	Low	Low	Medium	High
G3-PLC OFDM PLC - Wired		>1000m	<100kb/s	Medium	Low	High	Low
PRIME OFDM PLC - Wired		>1000m	<125kb/s	Medium	Low	High	Medium
Meters&More BPSK PLC - Wired		>1000m	<30kb/s	Low	Low	High	High
G1, LINKY S-FSK PLC - Wired		>1000m	<10kb/s	Low	Low	Medium	High
RS485 - Wired		>1000m	<100kb/s	Low	Medium	Low	High
GPRS/3G - RF		>10000m	>2Mb/s	High	High	High	High

Σχήμα 13 : Σύγκριση Ενσύρματων Τεχνολογιών Επικοινωνίας



## 2.3.1 Power Line Communication (PLC)

Οι επικοινωνίες γραμμής ρεύματος (PLC) χρησιμοποιούν γραμμές μεταφοράς ενέργειας ως κανάλι επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων. Σε ορισμένες χώρες, το PLC έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για έλεγχο φορτίου και απομακρυσμένη μέτρηση. Καθώς οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τερματίζονται σε κάθε μετρητή, η τεχνολογία αυτή ενσωματώνεται εύκολα στο έξυπνο σύστημα μέτρησης. Με το πλεονέκτημα της ευρείας διαθεσιμότητας της ηλεκτρικής υποδομής, το PLC μειώνει το κόστος εγκατάστασης σε σύγκριση με άλλες ενσύρματες λύσεις. Το μόνο πρόσθετο κόστος προέρχεται από την ανάπτυξη νέων μόντεμ στο ηλεκτρικό δίκτυο [69]. Ωστόσο, τα σήματα δεδομένων δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω των μετασχηματιστών και ως εκ τούτου η επικοινωνία γραμμής ισχύος περιορίζεται μεταξύ των μετασχηματιστών. Θεωρείται κατάλληλη λύση για δίκτυα καταστημάτων, NAN και FAN [70]. Μπορεί επίσης να λειτουργεί μέσω γραμμών υψηλής τάσης (δίκτυα συστημάτων μεταφοράς). Λειτουργώντας στη ζώνη συχνοτήτων από 40 έως 500 kHz, μπορεί να επιτύχει ρυθμούς δεδομένων μερικών εκατοντάδων kbps πάνω από γραμμές 1100kV.



Σχήμα 14 : Επισκόπηση τεχνολογίας PLC

Οι τεχνολογίες PLC μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε PLC στενής ζώνης (NB-PLC) και ευρυζωνικό PLC (BB-PLC). Το NB-PLC είναι γνωστό ότι λειτουργεί συνήθως κάτω από 500 kHz και το BB-PLC είναι γνωστό ότι λειτουργεί σε συχνότητες περίπου 1.8MHz. Ορισμένα συστήματα ευρείας ζώνης PLC λειτουργούν στη ζώνη 230MHz και μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς δεδομένων μέχρι 200Mbps.

Τρία πρότυπα PLC που χρησιμοποιούνται ενδεχομένως στα Smart Grids είναι τα IEEE P1901, ITU-T G.hn και ANSI / CEA 709 [71]. Το IEEE P1901 είναι πρότυπο ευρυζωνικής γραμμής ισχύος (BPL). Το BPL έχει σχεδιαστεί για να έχει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων πέραν των 100Mbps ενώ χρησιμοποιεί συχνότητες κάτω των 100MHz. Είναι σε θέση να υποστηρίξει περισσότερες από 2000 συσκευές. Αυτό το πρότυπο δοκιμάστηκε ώστε να λειτουργεί γύρω στα 30MHz και εξακολουθεί να επιτυγχάνει τις αναμενόμενες υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων [72]. Ωστόσο, το εύρος επικοινωνίας περιορίζεται λόγω της υψηλής εξασθένησης που προκαλείται σε χαμηλές συχνότητες, επομένως δεν προτιμάται. Υπάρχουν δύο φυσικά επίπεδα για αυτό το πρότυπο. Wavelet OFDM βασισμένο PHY και FFT OFDM με βάση PHY, στοχεύουν στη βελτίωση της επικοινωνίας μέσω των θορυβώδεις γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η προδιαγραφή FFT-OFDM επιτρέπει την συμβατότητα προς τα πίσω με συσκευές που χρησιμοποιούν την προδιαγραφή HomePlug AV [71].

Το πρότυπο επικοινωνίας ITU-T G.hn αναπτύχθηκε αρχικά για οικιακούς χώρους, γραφεία μικρής κλίμακας, ξενοδοχεία κλπ. Η τεχνολογία G.hn είναι σε θέση να μεταδίδει δεδομένα μέσω διαφόρων τύπων καλωδίων στο σπίτι, όπως τηλεφωνική γραμμή, ηλεκτρική γραμμή, ομοαξονικά καλώδιο και καλώδιο Cat-5, με αναμενόμενες υψηλές ταχύτητες δεδομένων τόσο υψηλές όσο 1Gbps [72]. Μπορεί επίσης να υποστηρίξει μέχρι και 250 κόμβους. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το πρότυπο G.hn έχουν διαλειτουργικότητα με συσκευές γραμμής ισχύος που χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE P1901 [71]. Οι σειρές προτύπων ANSI / CEA-709 έχουν αναπτυχθεί για έλεγχο στο σπίτι και αυτοματισμό. Το πρότυπο 709.1 έγινε διεθνές πρότυπο το 2008. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων 115 έως 132MHz και είναι γνωστό ότι υποστηρίζει έως και 32.000 κόμβους [71].

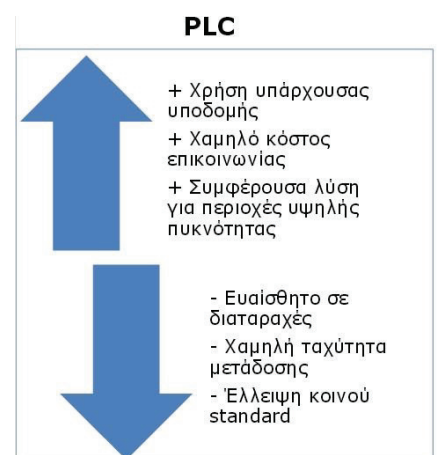
**Γενικότερα τα PLC είναι :** Συστήματα για τη μεταφορά δεδομένων σε έναν αγωγό που χρησιμοποιείται επίσης για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Συστήματα για τη μεταφορά δεδομένων μέσω αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος για WAN εφαρμογές. Δημοφιλή στην Ευρώπη όπου ο σχεδιασμός των ηλεκτρικών δικτύων υποστηρίζει οικιακή πρόσβαση

**Τα πρότυπα τους :** Διάφορα ανταγωνιστικά: G.hn/G.9960. IEEE 1901

**Η χρησιμότητα τους στα έξυπνα δίκτυα :** Αυτοματισμός υποσταθμού, AMI Backhaul, Απομακρυσμένη παρακολούθηση, Αυτοματισμός διανομής.

**Πλεονεκτήματα της χρήσης PLC:**

· Το κόστος εγκατάστασης ενός δικτύου PLC είναι χαμηλό από τη στιγμή που χρησιμοποιούμε προϋπάρχουσες συνδέσεις.



- Χρησιμοποιώντας προϋπάρχοντα καλώδια για την υλοποίηση του συστήματος δεν απαιτεί πρόσθετο υλικό.
- Είναι εύκολο να ενσωματώσετε το σύστημα με ελεγκτή.
- Οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων καθιστούν το PLC κατάλληλο για εφαρμογές ροής σε πραγματικό χρόνο.

#### Μειονεκτήματα χρήσης PLC:

- Τα σήματα δεδομένων είναι ευαίσθητα στην εξασθένηση.
- Τα σήματα δεδομένων είναι επιρρεπή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI). [73] [74]

**Εύρος συχνοτήτων :** Τα RF κύματα ταξιδεύουν σε συχνότητες των 1.7-80 MHz. Οι περισσότεροι πάροχοι βασίζονται στο φάσμα 1-30MHz για BPL μετάδοση

**Εύρος Ζώνης Καναλιού :** Wide band: 1200 (Hz). Medium band: 600 (Hz)

**Ικανότητες Κάλυψης :** Αποστάσεις πάνω των 15 km μπορούν να επιτευχθούν πάνω από ένα δίκτυο μέσης τάσης.

**Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων :** Οι ρυθμοί δεδομένων ποικίλουν ευρέως. Χαμηλής συχνότητας φέροντα (100-200kHz): λίγες εκατοντάδες bits/sec. Μεγαλύτεροι ρυθμοί δεδομένων σημαίνουν μικρότερη εμβέλεια.

**Κόστος :** Υψηλό, ειδικά για εφαρμογές στην Αμερική όπου ο σχεδιασμός του δικτύου είναι ανεπαρκής για BPL συγκριτικά με την Ευρώπη.

**Ωριμότητα Τεχνολογίας :** Πιο δημοφιλής τεχνολογία στην Ευρώπη από ότι στην Β. Αμερική. Έχουν επιτυχώς χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες τόσο μονόδρομα όσο και αμφίδρομα συστήματα.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	(ΜΕΓΙΣΤΗ) ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	
PLC G3	33.4 kbps	OFDM	ERDF
PRIME	128 kbps	OFDM	IBERDROLA
METERS & MORE	9.6 kbps	BPSK	ENEL
PLC OSGP	5 kbps	BPSK	ESNA-Echelon

Σχήμα 15 : Σύγκριση PLC τεχνολογιών

## 2.3.2 Digital Subscriber Line (DSL)

---

Πρόκειται για μια τεχνολογία υψηλής ταχύτητας μεταφοράς ψηφιακών δεδομένων που χρησιμοποιεί τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου. Ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση, που δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3.5 km. Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των DSL γραμμών μειώνει το κόστος εγκατάστασης. Έτσι, πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν το DSL για τα έργα των έξυπνων δικτύων τους.

**Πλεονεκτήματα:** Όπως και με την PLC τεχνολογία, υπάρχει διαθέσιμη υποδομή, οπότε το κόστος εγκατάστασης ενός AMI δικτύου μειώνεται. Η DSL τεχνολογία, σε συνδυασμό με δίκτυα οπτικών ινών και Ethernet (που χρησιμοποιούνται στην υποδομή ενός δικτύου τηλεφωνίας/ευρυζωνικών υπηρεσιών), προσφέρεται για την απ' άκρο σε άκρο σύνδεση μετρητών και MDMS, αλλά και για τη σύνδεση του MDMS με μονάδες επεξεργασίας των υπόλοιπων οντοτήτων του ΕΔ.

**Μειονεκτήματα:** Η συγκεκριμένη τεχνολογία αδυνατεί να εξυπηρετήσει μετρητές και συγκεντρωτές που βρίσκονται σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Μέσω του τηλεφωνικού καλωδίου μεταδίδονται κυρίως δεδομένα ευρυζωνικών διαδικτυακών υπηρεσιών, οπότε ελλοχεύει ο κίνδυνος συμφόρησης δεδομένων. Τέλος, οι εταιρίες ηλεκτρισμού θα πρέπει να καταβάλλουν κόστος ενοικίασης και χρήσης εξοπλισμού στις εταιρίες παροχής τηλεφωνικών και ευρυζωνικών υπηρεσιών. [75]

## 2.3.3 Οπτικές Ίνες (FTTx)

---

Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη για την χρήση της σε μεγάλες εταιρίες παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την σύνδεση του δικτύου παραγωγής με τα δίκτυα ελέγχου των εγκαταστάσεων. Επιπροσθέτως, η ανοσία τους σε παρεμβολές είτε ηλεκτρομαγνητικές είτε ραδιοφωνικές την έκανε ιδανική για περιβάλλοντα υψηλών voltage. Σύμφωνα με το υψηλό bandwidth capacity και τα χαρακτηριστικά ανοσίας που την διακρίνουν, η τεχνολογία αυτή θεωρείται ότι μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στο κεντρικό δίκτυο πληροφοριών των SG. Ανεξαρτήτου του σημαντικού κόστους εγκατάστασης, οι οπτικές ίνες διατηρούν ένα χαμηλό κόστος υποδομής για υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας, καθώς έχουν ευρέως εξαπλωθεί στο υπάρχον δίκτυο (network backbones), όπου ένα μεγάλο μέρος των δυνατοτήτων του παραμένει αχρησιμοποίητο.

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε τοπικά όσο και σε ευρεία δίκτυα για την μετάδοση δεδομένων με πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης. Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο σήμερα φθάνει στις ευρέως χρησιμοποιούμενες υλοποιήσεις όπως το Gigabit Ethernet μέχρι και τα 10 Gbps. Η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 70-100 χιλιομέτρων ανάλογα με τον τύπο της οπτικής ίνας και το σήμα που μεταφέρεται.

Συνεπώς, περιορίζουν τον αριθμό των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση, και έχει σημαντική ανοχή στον θόρυβο. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των οπτικών ινών είναι:

- Το χαμηλό κόστος
- Το υψηλό εύρος μετάδοσης
- Η μικρή εξασθένηση του σήματος
- Οι μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται κυρίως για την υλοποίηση ευρυζωνικού δικτύου κορμού και διανομής, καθώς είναι ουσιαστικά η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες δεδομένων με τον υψηλό ρυθμό που απαιτεί η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από κεντρικά σημεία διανομής προς τους συνδρομητές. Για το λόγο αυτό είναι σύνηθες ο συνδυασμός υποδομών οπτικών ινών με άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπου η υποδομή οπτικών ινών δημιουργείται και φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης για να δημιουργηθεί το δίκτυο πρόσβασης που φτάνει μέχρι το χώρο του χρήστη. Οι τεχνολογίες οπτικών ινών δημιουργούν μια οικογένεια αρχιτεκτονικών που ονομάζεται FTTx, όπου το «x» παριστάνει τις διάφορες επιλογές όσον αφορά στο βαθμό προσέγγισης του συνδρομητή με οπτική ίνα και κατά συνέπεια στον αριθμό των συνδρομητών που μοιράζονται το τελευταίο τμήμα της καλωδίωσης. Ως μέτρο της απόστασης από το συνδρομητή καθιερώθηκε το ένα μίλι, χρησιμοποιείται δε ο όρος «last mile (τελευταίο μίλι)». Το τελευταίο μίλι (περίπου 1.500 μέτρα) αποτελεί το τελικό σκέλος της παροχής διασύνδεσης από έναν πάροχο επικοινωνιών σε έναν πελάτη. Το FTTx ουσιαστικά βασίζεται στην υλοποίηση τμήματος των τελευταίων 1.500 μέτρων με τη χρήση οπτικών ινών. Συγκεκριμένα, τα υπάρχοντα συνεστραμμένα ζεύγη χαλκού ή ομοαξονικά καλώδια που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την επίτευξη της ζεύξης από τον κεντρικό καταναμητή της περιοχής μέχρι τις εγκαταστάσεις του χρήστη αντικαθίστανται από οπτικές ίνες με πρακτικά άπειρη χωρητικότητα. [76]

### 2.3.4 Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση Και Ψηφιακή Ιεραρχία (SONET/SDH)

Το SONET (Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο) και το SDH (Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία) είναι βασικά ψηφιακά δίκτυα μεταφοράς που επιτρέπουν την ενσωμάτωση υπηρεσιών δεδομένων υψηλής ταχύτητας, τα οποία διευκολύνουν την ανάπτυξη μεγάλων δικτύων με ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις διαχείρισης δικτύου. Και οι δύο τεχνολογίες καθορίζουν έναν κοινό αριθμό συγκεντρωτικών ρυθμών μετάδοσης, ιδίως στους υψηλότερους ρυθμούς. Ωστόσο έχουν σημαντικές διαφορές στα χαμηλότερα επίπεδα πολλαπλασιασμού. Η SDH έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε τομείς εργασίας, καθώς και στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας για την κατασκευή των δικτύων μεταφοράς backbone. Προσφέρει αξιοπιστία κλάσης σε φορείς με μικρούς χρόνους αποκατάστασης λιγότερο από 50 ms, σε περίπτωση βλάβης διαδρομής.



Οι σύγχρονες πλατφόρμες SDH έχουν αποδειχθεί πως αποτελούν ένα παγκόσμιο δίκτυο μεταφορών για όλα τα είδη υπηρεσιών που βασίζονται σε TDM, όπως συγκεκριμένες εφαρμογές φωνής, δεδομένων ή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, τα πρόσφατα εξελιγμένα πρότυπα επιτρέπουν στο Ethernet / IP να επωφεληθεί από τους μηχανισμούς μεταφοράς που μπορεί να προσφέρει η SDH, ειδικά σε εφαρμογές WAN. Από την εισαγωγή της, η SDH υιοθετήθηκε παγκοσμίως από πολλές εταιρείες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για συστήματα οπτικών ινών και μικροκυμάτων, προσφέροντας την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών για απαιτητικές εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο και υπηρεσίες κρίσιμης σημασίας. [77]

### 2.3.5 Ethernet

---

Το Ethernet είναι μια τεχνολογία LAN που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα που το καθιστούν το μέσο επικοινωνίας για συστήματα αυτοματισμού υποσταθμών συμπεριλαμβανομένης της ανώτερης ευελιξίας, της συμβατότητας και της ταχύτητας. Καθώς ένας αυξημένος αριθμός ευφυών ηλεκτρονικών συσκευών (IED) εγκαθίσταται σε ηλεκτρικούς υποσταθμούς, υπάρχει τάση δημιουργίας τοπικών δικτύων εντός του υποσταθμού. Το ftis είναι το πρότυπο επικοινωνίας (IEC 61850) για το σχεδιασμό συστημάτων αυτοματισμού υποσταθμών το οποίο έχει υιοθετήσει το Ethernet ως πρότυπο δικτύου επικοινωνιών εντός υποσταθμών. Επιπλέον το NIS έχει αναγνωρίσει πρότυπο για εφαρμογές αυτοματισμού και προστασίας υποσταθμών σε περιβάλλον έξυπνου δικτύου. [78]

### 2.3.6 PSTN

---

Το PSTN (δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής) αναφέρεται στο διεθνές δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο που βασίζεται σε καλώδια χαλκού που μεταφέρουν αναλογική φωνή. Αποτελείται από τηλεφωνικές γραμμές, καλώδια, συνδέσεις μετάδοσης μικροκυμάτων, κυψελοειδή δίκτυα, δορυφόρους επικοινωνιών και υποθαλάσσια τηλεφωνικά καλώδια όλα διασυνδεδεμένα με κέντρα μεταγωγής τα οποία επιτρέπουν σε οποιοδήποτε τηλέφωνο στον κόσμο να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο. Το fte PSTN είναι πλέον ψηφιακό στον πυρήνα του και περιλαμβάνει κινητά και σταθερά τηλέφωνα. Τα κυκλώματα σημείου προς σημείο είναι οικονομικά και αποδοτικά για την επικοινωνία υψηλής ταχύτητας μεταξύ δύο συσκευών. Τα ψηφιακά κυκλώματα μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα στα (2,4, 4,8, 9,6, 19,2, 56 και 64Kbps). Επίσης δεν είναι τεχνικά φωνητικά, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά φωνής ή δεδομένων. Οι μισθωμένες γραμμές χαμηλής ταχύτητας έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς από επιχειρήσεις κοινής ωφελείας για την παροχή γρήγορων συνδέσεων σε διάφορες εγκαταστάσεις και συσκευές που δεν μπορούν να επιτευχθούν σε ένα δομημένο δίκτυο. [79]



## 2.3.7 FTTH

---

Το FTTH (Fiber to the Home) είναι μια τεχνολογία που παρέχει ευρυζωνική σύνδεση οπτικών ινών σε χώρους καταναλωτών. Το FTTH υπήρξε η προτιμώμενη λύση του κλάδου των τηλεπικοινωνιών εδώ και δεκαετίες, υποσχόμενη σχεδόν απεριόριστο εύρος ζώνης οπτικών ινών στον οικιακό χρήστη. Το fte κλειδί ενεργοποίησης του FTTH αποτελεί το Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (PON). Η τεχνολογία PON επιτρέπει την κατάτμηση μίας μόνο οπτικής ίνας έως 128 φορές χωρίς ενεργούς ηλεκτρονικούς αναμεταδότες. Το ftis δημιουργεί ένα δίκτυο από ένα σημείο σε ένα πολλαπλό σημείο το οποίο δεν απαιτεί ηλεκτρονικά μέσα μεταξύ των χώρων του καταναλωτή και του κεντρικού γραφείου. [72]

## 2.3.8 WDM

---

Το WDM είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει την αξιοποίηση της τεράστιας χωρητικότητας των οπτικών ινών μέσω της πολυπλεξίας ενός αριθμού οπτικών δεδομένων υψηλής ταχύτητας στην ίδια ίνα χρησιμοποιώντας διαφορετικά οπτικά μήκη κύματος (CIGRE, 2006). Στα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η τεχνολογία WDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναβάθμιση της υπάρχουσας υποδομής SDH. Η τεχνολογία πυκνών WDM (DWDM) επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων σε περισσότερα από ένα μήκη κύματος σε κάθε ζεύγος ινών ενός συστήματος οπτικών ινών. Το επίπεδο σύγχρονης μετάδοσης μονάδας Fte 16 ή STM-16 ( $16 \times 155.520 \text{ Mbps} = 2,5 \text{ Gbps}$ ) είναι η ταχύτητα μετάδοσης στην ιεραρχία SDH η οποία χρησιμοποιείτε πλέον σε μεγάλο βαθμό και μπορεί να μεταδίδει σήματα STM-16 σε τέσσερα ( $4 \times 2,5 \text{ Gbps}$ ) ή σε οκτώ διαφορετικά μήκη κύματος ( $4 \text{ ή } 8 \times 2,5 \text{ Gbps}$ ) και έχει χωρητικότητα 10 ή 20 Gbps ανά ζεύγος ινών. Τα δίκτυα που βασίζονται σε DWDM μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα σε μορφές IP, ATM, SONET / SDH και Ethernet. Επιπλέον, τα δίκτυα που βασίζονται σε DWDM μπορούν να μεταφέρουν διαφορετικούς τύπους κίνησης σε διαφορετικές ταχύτητες μέσω ενός οπτικού καναλιού. [80]

## 2.3.9 Τεχνολογίες Δικτύωσης Ευρείας Περιοχής (WAN)

---

Το WAN συνδέεται με το LAN του σταθμού μετάδοσης, το τοπικό δίκτυο κοινής ωφελείας και το δημόσιο διαδίκτυο. Ο υποσταθμός LAN της μετάδοσης αποτελείται από όλους τους συνδεδεμένους υποσταθμούς μετάδοσης που χρησιμοποιούν συσκευές προστασίας και ελέγχου για τη λειτουργία αυτοματισμού του υποσταθμού [81]. Το τοπικό δίκτυο χρησιμότητας χρησιμοποιείται για τη διαχείριση, παρακολούθηση και έλεγχο των ροών δεδομένων από τα βοηθητικά προγράμματα. Θα χρησιμοποιηθεί για την παροχή υπηρεσιών όπως αυτοματοποίηση συσκευών πεδίου, μέτρηση, απόκριση ζήτησης και έλεγχος φορτίου [82]. Το δίκτυο ευρείας περιοχής που συνδέεται με το δημόσιο διαδίκτυο, επιτρέπει σε τρίτους να συμμετέχουν σε δραστηριότητες Smart Grid χρησιμοποιώντας ένα ασφαλές κανάλι επικοινωνιών.

Όπως έχει εντοπιστεί προηγουμένως, ιστορικά, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ήδη λειτουργήσει δίκτυα WAN για πολλές εφαρμογές όπως SCADA, παρακολούθηση και έλεγχο, επικοινωνίες εντός διαφόρων τομέων των συστημάτων ισχύος κλπ. Αυτά τα δίκτυα έχουν επίσης χρησιμοποιήσει διάφορες τεχνολογίες επικοινωνιών όπως ηλεκτροφόρα καλώδια, μισθωμένες γραμμές, οπτικές ίνες, ασύρματα κανάλια. Υπάρχει μια αυξανόμενη εστίαση στις επικοινωνίες οπτικών ινών για σκοπούς WAN, λόγω της μεγάλης χωρητικότητας και της υπεροχής τους στα σημερινά δίκτυα WAN [83]. Διάφορα οπτικά πρότυπα και πρωτόκολλα παρέχουν αξιόπιστες υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων μεγάλων αποστάσεων για χιλιάδες χιλιόμετρα. Ασύρματες λύσεις όπως WiMAX (IEEE 802.16), 3G και LTE είναι επίσης πιθανές λύσεις, καθώς είναι ευκολότερες στην ανάπτυξη, ευέλικτες και εύκολα κλιμακούμενες. Το σχήμα 7 δείχνει τα υπάρχοντα πρότυπα διεθνούς επικοινωνίας σε διαφορετικά επίπεδα πρωτοκόλλου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο WAN.

### 2.3.10 GPRS

Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν ενσύρματες εναλλακτικές λύσεις, τα κυψελοειδή δίκτυα, ειδικά το GPRS, μπορούν επίσης να βρεθούν σε ορισμένες αναπτύξεις.

Το GPRS είναι μια ανοικτή τεχνολογία και μια αποτελεσματική και αξιόπιστη τεχνολογία. Πολλές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο Cork (Ιρλανδία) με SM που χρησιμοποιούν GPRS ανέφεραν καλή απόδοση αυτής της τεχνολογίας και εύκολη ανάπτυξη. [48]



## 2.4 Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνίας

Σε πολλές εφαρμογές έξυπνων δικτύων ο μεγάλος αριθμός συνδέσεων επικοινωνίας καθιστά τη χρήση ενσύρματων λύσεων οικονομικά ή / και φυσικά απαγορευτική. Από την άλλη πλευρά, οι ασύρματες τεχνολογίες προσφέρουν οφέλη, όπως χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης, γρήγορη ανάπτυξη, ευρεία πρόσβαση και μεγαλύτερη ευελιξία. Οι ασύρματες επικοινωνίες όπως και έχουμε προαναφέρει χωρίζονται σε δίκτυα HAN και NAN οι οποίες έχουν τους ανάλογους βέλτιστους τρόπους επικοινωνίας.

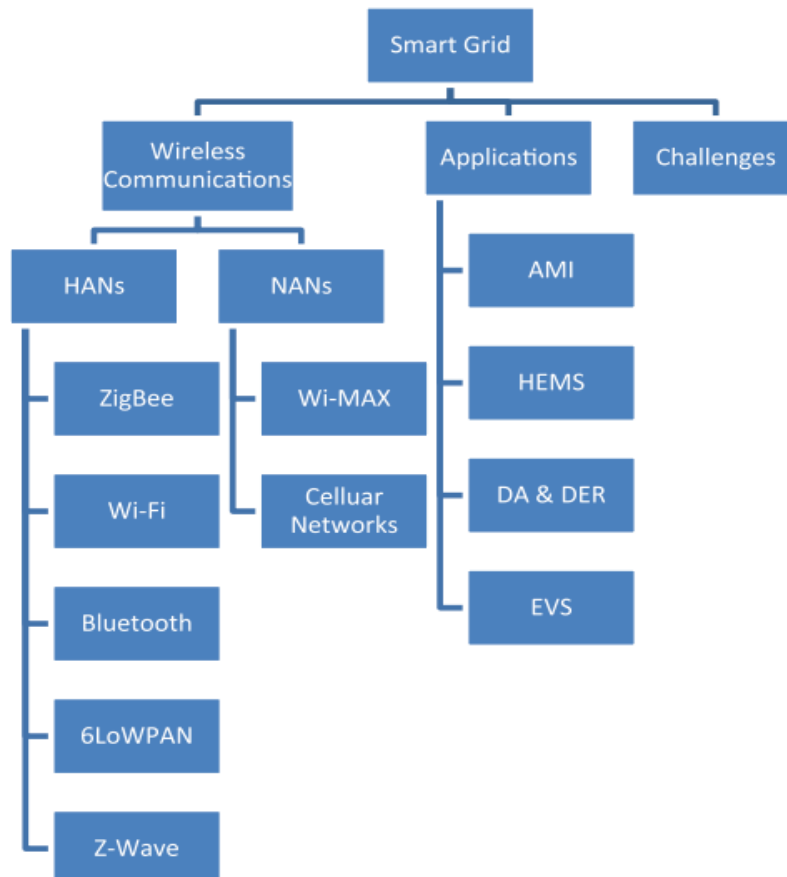
### Ασύρματες Τεχνολογίες Σε Δίκτυα HAN :

Το δίκτυο HAN επιτρέπει στις συσκευές που βρίσκονται μέσα σε ένα σπίτι να επικοινωνούν μεταξύ τους. Στο πλαίσιο των έξυπνων δικτύων τέτοιες συσκευές περιλαμβάνουν έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές και οικιακές συσκευές διαχείρισης ενέργειας.

Μερικά από τα σημαντικότερα πρωτοκόλλα ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας για την υλοποίηση του HAN smart grid αποτελούν το ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, 6LoWPAN και Z-Wave. Το IEEE έχει καθορίσει διαφορετικά πρότυπα για τις τρεις πρώτες από αυτές τις τεχνολογίες στις οποίες ορίζονται μόνο τα επίπεδα Φυσικού (PHY) και Μεσαίου Πρόσβασης (MAC): Bluetooth (802.15.1a), ZigBee (802.15.4b) και Wi-Fi). Η Internet Engineering Task Force (IETF) εισήγαγε το πρότυπο 6LoWPAN για να επιτύχει επικοινωνίες χαμηλής ισχύος με IPv6. Τα Wireless Communication Technical Committee (WCT) για HAN αναλύονται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες. [84]

### Ασύρματες Τεχνολογίες Σε Δίκτυα NAN :

Ένα δίκτυο NAN επιτρέπει σε συσκευές σε μια μικρή περιοχή, όπως μια γειτονιά, να επικοινωνούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, όλοι οι έξυπνοι μετρητές σε μια γειτονιά επικοινωνούν με έναν δρομολογητή προκειμένου να σχηματίσουν ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο έξυπνων συσκευών. Οι επικοινωνίες μεταξύ ενεργειακών υπηρεσιών, έξυπνων μετρητών, HAN, DER και άλλων πιθανών οντοτήτων έξυπνου δικτύου απαιτούν ένα μεγάλο δίκτυο με την κατάλληλη αρχιτεκτονική δικτύων και τεχνολογία επικοινωνιών. Τέτοιες τεχνολογίες αποτελούν το Wi-Max και το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.



Πίνακας 3 : Βασικές τεχνολογίες και δυνατότητες για συστήματα Smart Metering

## 2.4.1 ZigBee

---

Η ZigBee είναι η μόνη ασύρματη τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται στις μοναδικές ανάγκες των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και ελέγχου χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ωστόσο, προσφέρει χαμηλό ρυθμό δεδομένων για προσωπικά δίκτυα (Personal Area Networks, PANs). Αυτό το πρότυπο επικοινωνίας ορίζει τα στρώματα φυσικού ελέγχου και ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων (MAC) για τη διαχείριση πολλών συσκευών σε χαμηλές ταχύτητες δεδομένων. Αυτά τα WPAN του Zigbee λειτουργούν σε συχνότητες 868 MHz, 902-928MHz και 2,4 GHz. Το ZigBee είναι μια προδιαγραφή για μια σειρά πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιούν μικρά, χαμηλής ισχύος ψηφιακά ραδιόφωνα βάση του προτύπου IEEE 802.15.4 για ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPAN) όπως και ασύρματα ακουστικά που συνδέονται με κινητά τηλέφωνα. [85]

Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως στον έλεγχο των συσκευών, την αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων, τον αυτοματισμό κατοικιών και κτιρίων, τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, την απομακρυσμένη παρακολούθηση, την υγειονομική περίθαλψη και πολλούς άλλους τομείς. [86]

Το Zigbee είναι δίκτυο χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως για έλεγχο και παρακολούθηση εφαρμογών όπου καλύπτει 10-100 μέτρα εντός της περιοχής. Αυτό το σύστημα επικοινωνίας είναι λιγότερο δαπανηρό και απλούστερο από τα άλλα ιδιόκτητα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μικρής εμβέλειας όπως το Bluetooth και το Wi-Fi. Το Zigbee υποστηρίζει διαφορετικές διαμορφώσεις δικτύου για master to master ή master to slave επικοινωνίες. Επίσης, μπορεί να λειτουργήσει σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας με αποτέλεσμα να διατηρείται η ισχύς της μπαταρίας. Τα δίκτυα Zigbee μπορούν να επεκταθούν με τη χρήση δρομολογητών και επιτρέπουν σε πολλούς κόμβους να διασυνδέονται μεταξύ τους για την κατασκευή ενός ευρύτερου δικτύου περιοχής. [87, 88]

Σε ένα δίκτυο πλέγματος κάθε κόμβος μπορεί να επιτευχθεί με πολλαπλές συνδέσεις οι οποίες ενημερώνονται δυναμικά και βελτιστοποιούνται. Τα δίκτυα πλέγματος είναι αποκεντρωμένα και κάθε κόμβος μπορεί να διαχειριστεί τον εαυτό του υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες και είναι σε θέση να αυτό-δρομολογεί αυτομάτως και να συνδέεται με νέους κόμβους ανάλογα με τις ανάγκες. Αυτά τα χαρακτηριστικά προσφέρουν δυνατότητα κλιμάκωσης, μεγαλύτερη σταθερότητα και ανοχή έναντι αποτυχιών κόμβων / συνδέσμων. Το πρωτόκολλο fte ZigBee επιτρέπει την επικοινωνία χρησιμοποιώντας πολλαπλές τοπολογίες δικτύου, όπως σήμα αστερισμού QPSK, το δέντρο και το πλέγμα. Η τεχνολογία fte που ορίζεται από την προδιαγραφή ZigBee προορίζεται να είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από άλλα WPAN, όπως το Bluetooth.

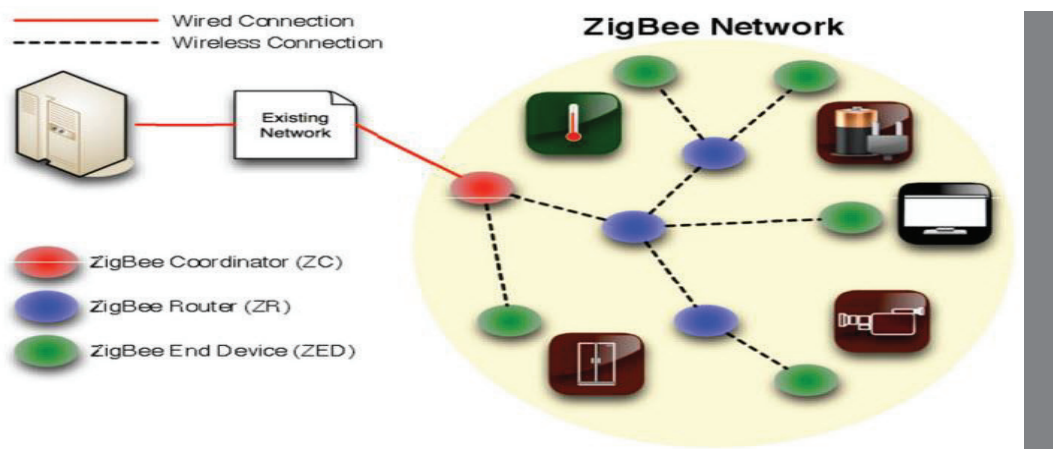
Το ZigBee απευθύνεται σε εφαρμογές RF που απαιτούν χαμηλό ρυθμό δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ασφαλή δικτύωση. Η πρωταρχική ελκυστικότητα του ZigBee είναι η πλατφόρμα ανοικτών προτύπων που υπόσχεται διαλειτουργικότητα μεταξύ πολλών προϊόντων και συστημάτων. Το ZigBee έχει ένα προφίλ Smart Energy Application Profile που έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές χρησιμότητας εντός του HAN, όπως η απόκριση ζήτησης, η δυναμική απόκριση των τιμών, η έξυπνη χρέωση φόρτισης με υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (PHEV) κλπ.

Η ZigBee Alliance ανακοίνωσε πρόσφατα συνεταιριστική συμφωνία με το HomePlug, η οποία θα επιτρέψει στα συστήματα με δυνατότητα ZigBee να λειτουργούν άψογα σε φορέα γραμμής ρεύματος ή σε ασύρματη λειτουργία. Fte Το ZigBee Smart Energy 2.0 έχει επιλεγεί από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ και το NIST ως ένα διαλειτουργικό πρότυπο για συσκευές HAN λόγω ότι προσφέρει λειτουργίες IP που επιτρέπουν την ανάπτυξη ευρείας κλίμακας πολλών προμηθευτών έξυπνων μετρητών, αισθητήρων, έξυπνων συσκευών, ενεργειακών οθονών κλπ.

Αυτό θα επιτρέψει επίσης την επικοινωνία με κόμβους που βασίζονται στο IPv6 χρησιμοποιώντας άλλες αρχιτεκτονικές δικτύου όπως Wi-Fi, Ethernet κ.λπ. προσφέροντας μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα και συμβατότητα.

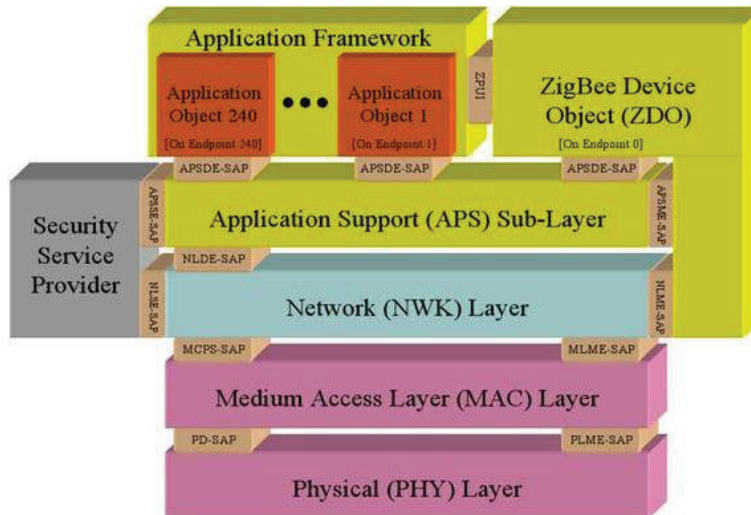
Η δομή του συστήματος Zigbee αποτελείται από τρεις διαφορετικούς τύπους συσκευών όπως το συντονιστή Zigbee, συσκευή δρομολόγησης και τερματισμού. Κάθε δίκτυο Zigbee πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον έναν συντονιστή ο οποίος ενεργεί ως ρίζα και γέφυρα του δικτύου.

Ο συντονιστής είναι υπεύθυνος για το χειρισμό και την αποθήκευση των πληροφοριών κατά τη διάρκεια της λήψης και της μετάδοσης δεδομένων. Οι δρομολογητές Zigbee λειτουργούν ως ενδιάμεσες συσκευές που επιτρέπουν στα δεδομένα να περνούν από και προς τα μέσα μέσω άλλων συσκευών. Οι συσκευές τερματισμού έχουν περιορισμένη λειτουργικότητα για να επικοινωνούν με τους γονικούς κόμβους έτσι ώστε να αποθηκεύεται η ισχύς της μπαταρίας.



Σχήμα 16 : Διασυνδέσεις συσκευών σε ένα δίκτυο ZigBee

Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου Zigbee αποτελείται από μια στοίβα διαφόρων επιπέδων όπου το IEEE 802.15.4 ορίζεται από φυσικά και MAC επίπεδα ενώ το πρωτόκολλο αυτό ολοκληρώνεται με τη συσσώρευση των δικών του δικτύων και των επιπέδων εφαρμογής του Zigbee.



Σχήμα 17 : Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου ZigBee

**Φυσικό Επίπεδο:** Αυτή η στρώση πραγματοποιεί λειτουργίες διαμόρφωσης και αποδιαμορφώσεως πάνω στα σήματα μετάδοσης και λήψης αντίστοιχα. Η συχνότητα, ο ρυθμός ημερομηνίας και ο αριθμός των καναλιών αυτού του στρώματος δίνονται παρακάτω.

**Επίπεδο MAC:** Αυτή η στρώση είναι υπεύθυνη για την αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων με πρόσβαση σε διαφορετικά δίκτυα με την αποφυγή σύγκρουσης πολλαπλής πρόσβασης (CSMA). Αυτό μεταδίδει επίσης τα πλαίσια φάρου για συγχρονισμό της επικοινωνίας.

**Επίπεδο Δικτύου:** Αυτή η στρώση φροντίζει για όλες τις λειτουργίες που σχετίζονται με το δίκτυο, όπως ρύθμιση δικτύου, τερματική σύνδεση συσκευής και αποσύνδεση δικτύου, δρομολόγηση, διαμορφώσεις συσκευών κ.λπ.

**Υπόστρωμα Υποστήριξης Εφαρμογών:** Αυτό το επίπεδο επιτρέπει στις υπηρεσίες που είναι απαραίτητες για αντικείμενα συσκευής Zigbee και αντικείμενα εφαρμογών να διασυνδέονται με τα επίπεδα δικτύου για υπηρεσίες διαχείρισης δεδομένων. Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την αντιστοίχιση δύο συσκευών ανάλογα με τις υπηρεσίες και τις ανάγκες τους.

**Πλαίσιο εφαρμογής:** Παρέχει δύο τύπους υπηρεσιών δεδομένων ως βασικό ζεύγος τιμών και υπηρεσίες γενικού μηνύματος. Το γενικό μήνυμα είναι μια δομή που έχει καθοριστεί από προγραμματιστή, ενώ το ζεύγος βασικών τιμών χρησιμοποιείται για τη λήψη χαρακτηριστικών μέσα στα αντικείμενα της εφαρμογής. Το ZDO παρέχει μια διασύνδεση μεταξύ αντικειμένων εφαρμογών και στρώματος APS σε συσκευές Zigbee. Είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση, την εκκίνηση και τη σύνδεση άλλων συσκευών στο δίκτυο.



Το Zigbee υποστηρίζει πολλές τοπολογίες ωστόσο οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες διαμορφώσεις είναι οι τοπολογίες των αστεριών, των πλεγμάτων και των δέντρων συστάδων. Οποιαδήποτε τοπολογία αποτελείται από έναν ή περισσότερους συντονιστές. Σε μια τοπολογία αστέρα, το δίκτυο αποτελείται από έναν συντονιστή ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και τη διαχείριση των συσκευών μέσω του δικτύου. Όλες οι άλλες συσκευές ονομάζονται συσκευές λήψης που επικοινωνούν απευθείας με τον συντονιστή. Αυτό χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες όπου όλες οι συσκευές τελικού σημείου χρειάζονται για να επικοινωνούν με τον κεντρικό ελεγκτή και αυτή η τοπολογία είναι απλή και εύκολη στην ανάπτυξη.

Στις τοπολογίες των πλεγμάτων και των δέντρων, το δίκτυο Zigbee επεκτείνεται με αρκετούς δρομολογητές, όπου ο συντονιστής είναι υπεύθυνος για την προσοχή τους. Αυτές οι δομές επιτρέπουν σε οποιαδήποτε συσκευή να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο γειτονικό κόμβο για την παροχή πλεονασμού στα δεδομένα. Εάν κάποιος κόμβος αποτύχει, οι πληροφορίες μεταφέρονται αυτόματα σε άλλη συσκευή από αυτές τις τοπολογίες. Δεδομένου ότι ο πλεονασμός είναι ο κύριος παράγοντας στις βιομηχανίες, ως εκ τούτου η τοπολογία των πλεγμάτων χρησιμοποιείται κυρίως.

Σε ένα δίκτυο cluster-tree κάθε σύμπλεγμα αποτελείται από έναν συντονιστή με κόμβους φύλλων και αυτοί οι συντονιστές συνδέονται με τον γονικό συντονιστή ο οποίος εκκινεί ολόκληρο το δίκτυο. [89]

#### **Πλεονεκτήματα:**

Το ZigBee διαθέτει 16 κανάλια στη ζώνη 2,4 GHz, το καθένα με εύρος ζώνης 5 MHz. 0 dBm (1 mW) είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου των ραδιοφωνικών σταθμών με εύρος μετάδοσης μεταξύ 1 και 100 m με ταχύτητα δεδομένων 250 Kb/s και διαμόρφωση OQPSK.

Το ZigBee θεωρείται μια καλή επιλογή για μετρήσεις και διαχείριση ενέργειας και ιδανική για εφαρμογές έξυπνων δικτύων μαζί με την απλότητα, την κινητικότητα, την ευρωστία, τις απαιτήσεις χαμηλού εύρους ζώνης, το χαμηλό κόστος ανάπτυξης, τη λειτουργία του σε ένα μη αδειοδοτημένο φάσμα, Πρωτόκολλο που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4.

Το ZigBee SEP έχει επίσης μερικά πλεονεκτήματα για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας αερίου, νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, όπως έλεγχος και μείωση φορτίου, ανταπόκριση στη ζήτηση, προγράμματα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και προηγμένη υποστήριξη μετρήσεων.

#### **Μειονεκτήματα:**

Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στο ZigBee για πρακτικές εφαρμογές, όπως χαμηλές δυνατότητες επεξεργασίας, μικρό μέγεθος μνήμης, μικρές απαιτήσεις καθυστέρησης και παρεμβολές σε άλλες συσκευές που μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές χωρίς άδεια (ISM) (WLAN), Wi-Fi, Bluetooth και μικροκυμάτων.

Συνεπώς, αυτές οι ανησυχίες σχετικά με την ευρωστία του ZigBee υπό συνθήκες θορύβου αυξάνουν τη δυνατότητα διάβρωσης ολόκληρου του καναλιού επικοινωνιών λόγω της παρεμβολής του 802.11/b/g/n στην περιοχή του ZigBee. [90]

Τα συστήματα ανίχνευσης παρεμβολών, τα συστήματα αποφυγής παρεμβολών και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ενεργειακής απόδοσης πρέπει να εφαρμοστούν για να επεκταθεί ο χρόνος ζωής του δικτύου και να εξασφαλιστεί αξιόπιστη και ενεργειακά αποδοτική απόδοση δικτύου.

Λόγω των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας Zigbee όπως οι τρόποι λειτουργίας χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος και οι τοπολογίες της, αυτή η τεχνολογία επικοινωνίας μικρής εμβέλειας ταιριάζει περισσότερο σε διάφορες εφαρμογές σε σύγκριση με άλλες ιδιόκτητες επικοινωνίες, όπως Bluetooth, Wi-Fi κ.λπ.

#### **Εφαρμογές της τεχνολογίας Zigbee:**

**Βιομηχανικός αυτοματισμός:** Στις βιομηχανίες παραγωγής και παραγωγής, ένας σύνδεσμος επικοινωνίας παρακολουθεί συνεχώς διάφορες παραμέτρους και κρίσιμους εξοπλισμούς. Ως εκ τούτου, το Zigbee μειώνει σημαντικά αυτό το κόστος επικοινωνίας καθώς και βελτιστοποιεί τη διαδικασία ελέγχου για μεγαλύτερη αξιοπιστία.

**Αυτοματισμός στο σπίτι:** Το Zigbee είναι ιδανικό για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών εξ αποστάσεως, όπως έλεγχος συστήματος φωτισμού, έλεγχος συσκευών, έλεγχος συστήματος θέρμανσης και ψύξης, λειτουργία εξοπλισμού ασφαλείας και έλεγχος, επιτήρηση κ.ο.κ.

**Έξυπνη μέτρηση:** Οι απομακρυσμένες λειτουργίες Zigbee στην έξυπνη μέτρηση περιλαμβάνουν την απόκριση στην κατανάλωση ενέργειας, την τιμολόγηση, την ασφάλεια κατά της κλοπής ισχύος κ.λπ.

**Έλεγχος έξυπνου δικτύου:** Οι λειτουργίες του Zigbee σε αυτό το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνουν απομακρυσμένη παρακολούθηση της θερμοκρασίας, εντοπισμό σφαλμάτων, διαχείριση άεργου ισχύος κ.ο.κ.

## **2.4.2 WiMax**

---

Το WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι μια ασύρματη τεχνολογία που παρέχει ευρυζωνικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας σε μεγάλες αποστάσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως point-to-point ή point-multipoint για την παροχή κυρίως υπηρεσιών δεδομένων με βάση Ethernet / IP ως κοινόχρηστο μέσο σε τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει χαλκός και ίνες ενώ επίσης δεν απαιτείται η δυνατότητα κινητικότητας.

Το WiMax μπορεί να παρέχει επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων πέραν των 16 km και σε ορισμένες περιπτώσεις πέραν των 48 km σε ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων 75 Mbps. Το WiMax που χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.16 επιτρέπει την απρόσκοπτη επικοινωνία με πολλούς προμηθευτές. Επίσης, το WiMax μπορεί να επικοινωνεί εκτός οπτικού πεδίου μέσω του IEEE 802.16e και παρέχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με κινούμενα φορτηγά ή αυτοκίνητα. Μπορεί να χρησιμεύσει ως δίκτυο ραχοκοκαλιάς ενός συστήματος επικοινωνίας μετάδοσης και διανομής που υποστηρίζει εφαρμογές Wi-Fi για αυτοματοποίηση υποκατάστασης ή διανομής, καθώς και να παρέχει υποδομή backhaul για συστήματα AMI. [91]

### 2.4.3 WiFi

---

Το Wi-Fi (Wireless Fidelity) είναι μια τεχνολογία που προορίζεται να εφαρμοστεί περισσότερο στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένου του Smart Grid. Το Wi-Fi χρησιμοποιείται συνήθως ως συντομογραφία του προτύπου 802.11b. Υποστηρίζει εύρος ζώνης έως 11 Mbps, συγκρίσιμο με το παραδοσιακό Ethernet.

Το πρότυπο 802.11b χρησιμοποιεί επίσης την τεχνική διαμόρφωσης DSSS στη ζώνη των 2,4 GHz ως το αρχικό πρότυπο 802.11, όπου οι συσκευές Wi-Fi επικοινωνούν μεταξύ τους με ρυθμούς δεδομένων μέχρι 11 Mbps. Η Wi-Fi Alliance δημιούργησε μια νέα ομάδα εργασιών για να καθορίσει ποια πρότυπα θα πρέπει να τροποποιηθούν προκειμένου να επωφεληθούν από το Smart Grid. Η Wi-Fi Alliance έχει εκδώσει μια έκθεση που εξετάζει περιοχές στο περιβάλλον έξυπνου δικτύου, όπου το Wi-Fi μπορεί να διαδραματίσει κάποιο ρόλο. Το 802.11b περιλαμβάνει έξυπνους μετρητές, οικιακά δίκτυα και τη συνεργασία μεταξύ του Smart Grid και των κυψελοειδών δικτύων. Επιπλέον, η Wi-Fi Alliance και η ZigBee Alliance ανακοίνωσαν συμφωνία συνεργασίας για ασύρματο HAN για εφαρμογές smart grid. Η αρχική εστίαση θα είναι το ZigBee Smart Energy 2.0, το οποίο αναμένεται να λειτουργήσει μέσω τεχνολογίας Wi-Fi. [92]

### 2.4.4 Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας (GSM/GRPS)

---

Η χρήση των προϋπάρχοντων κυψελοειδών δικτύων ή αλλιώς δικτύων κινητής τηλεφωνίας εξοικονομεί τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε υποδομή ειδικών εφαρμογών επικοινωνίας και επιτρέπει την ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών. Το επαρκές εύρος ζώνης, τα υψηλά ποσοστά δεδομένων, η εκτεταμένη κάλυψη, τα χαμηλότερα κόστη συντήρησης και η ισχυρή ασφάλεια επιτρέπουν τα χαρακτηριστικά των σημερινών κυψελοειδών δικτύων. Με την χρήση ενσωματωμένων μονάδων αναγνώρισης συνδρομητών (SIM) ή GPRS εντός μιας κυψελοειδούς μονάδας ραδιοσυχνότητας η οποία είναι ενσωματωμένη σε έξυπνους μετρητές, μπορεί να επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ έξυπνων μετρητών και βοηθητικών προγραμμάτων. Δεδομένου ότι το δίκτυο GSM / GPRS μπορεί να χειριστεί τις απαιτήσεις επικοινωνιών που απαιτούνται από ένα έξυπνο δίκτυο μέτρησης, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να επικεντρωθούν σε εφαρμογές και υπηρεσίες πάνω σε αυτό.

Το GSM και το GPRS παρέχουν στους χρήστες την ανωνυμία και την προστασία των δεδομένων τους παράλληλα με την προστασία ταυτότητας που παρέχεται για την ασφάλεια. [75]

Τα κυψελοειδή δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Για την παροχή επικοινωνιών για εφαρμογές ευρείας περιοχής, όπως η αυτοματοποιημένη απάντηση (ADR), η AMI και η διαχείριση των διακοπών.
- Παρέχουν επικοινωνίες μεταξύ μονάδων απομακρυσμένου τερματικού (RTUs) σε υποσταθμούς.
- Παρέχουν επικοινωνίες προκειμένου να επιτρέπουν την επίβλεψη απομακρυσμένων DER. Μη κρίσιμες πληροφορίες μπορούν να κοινοποιηθούν μέσω μηνυμάτων SMS και τα DER μπορούν να παρακολουθούνται με συστήματα GPRS. [93]

	WiMAX	2G – GSM	2.5G – GPRS	3G – UMTS-CDMA2000-EDGE	4G – LTE
<b>Max. speed per channel</b>	72 Mbps	14 kbps	171 kbps	More than 2 Mbps	300 Mbps, 3.3 Gbps for LTE advanced
<b>Reach</b>	9 km	10 km	10 km	10 km	10 km
<b>Adoption rate</b>	Widely adopted	Extremely high	Widely adopted	Widely adopted	Widely adopted
<b>Unique value</b>	Low cost, low latency	High Adoption, extensive coverage	Uses GSM network but supports data transmission	High data rate	Extremely high data rate
<b>Applications</b>	AMI, ADR	AMI, EVs, ADR	AMI, EVs, ADR	DERs, AMI, EVs, ADR	DERs, AMI, EVs, ADR

Πίνακας 4 : Σύγκριση δικτύων κινητής τηλεφωνίας με WiMAX

Πολλοί φορείς σε όλο τον κόσμο έχουν ήδη εγκρίνει να θέσουν σε λειτουργία τα δίκτυα GSM για επικοινωνίες AMI. Η ανάπτυξη δικτύων επικοινωνιών έξυπνου δικτύου για ΗΥ είναι δυνατή με τη χρήση μηνυμάτων δικτύου GSM και SMS. Με βάση τις τεχνολογίες GSM / EDGE (Ενισχυμένα Δεδομένα για την Εξέλιξη GSM) και την τεχνολογία Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), η LTE είναι μία από τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών.

Το 3GPP Long Term Evolution (LTE), θεωρείται μια υποσχόμενη λύση για έξυπνες εφαρμογές επειδή προσφέρει τόσο χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση όσο και μεγάλο εύρος ζώνης. Ωστόσο, η LTE δεν προοριζόταν αρχικά για εφαρμογές Smart Grid, όπου τα δεδομένα που παράγονται από το δίκτυο πλέγματος έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις καθυστέρησης που είναι διαφορετικές από τις παραδοσιακές απαιτήσεις όπως δεδομένων και φωνητικών επικοινωνιών. Η καθυστέρηση που προσφέρεται από το δίκτυο LTE σε συστήματα έξυπνων δικτύων αναλύεται και δημιουργείται ένα εμπειρικό μαθηματικό μοντέλο προκειμένου να γίνει σωστή κατανομή της καθυστέρησης. Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι με τον τρέχοντα χρονοπρογραμματιστή LTE up-link δεν ικανοποιούνται πάντοτε οι απαιτήσεις λανθάνουσας έξυπνου δικτύου και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένας περιορισμένος αριθμός εξαρτημάτων. Για να ξεπεραστεί μια τέτοια έλλειψη, προτείνεται ένας ελαφρύς ευρετικός αλγόριθμος για τη βέλτιστη κατανομή των ομάδων πόρων για κάθε κατηγορία κυκλοφορίας.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο βέλτιστο πρόγραμμα προγραμματισμού μπορεί να χρησιμοποιήσει λιγότερα μπλοκ πόρων για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις χρόνου προγραμματισμού, σε σύγκριση με τα δύο υπάρχοντα σχήματα προγραμματισμού (Μεγάλο Μετρικό Σχέδιο Προγραμματισμού και Εγγυημένο Bit Rate (GBR) / Non-GBR Προγραμματισμό).

Δεδομένου ότι το σύστημα πολλαπλών κυψελών δικτύου, η απόδοση του δικτύου LTE μπορεί να επιδεινωθεί ακόμα περισσότερο λόγω ανισορροπίας φορτίου. Το μη ισορροπημένο φορτίο μεταξύ των πολλαπλών κυψελών οδηγεί σε υψηλότερη καθυστέρηση και υψηλότερο ρυθμό πτώσης πακέτων στο υψηλότερο φορτωμένο κελί ή σε υποαπορρόφηση πόρων στο κατώτερο φορτωμένο κελί. Προκειμένου να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, προτείνεται ένας αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου LTE που στοχεύει στην εύρεση των βέλτιστων λειτουργιών μεταβίβασης μεταξύ του υπερφορτωμένου κυττάρου και πιθανών κυττάρων-στόχων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου μπορεί να ανακουφίσει την υπερφόρτωση των πόρων του δικτύου και να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του εύρους ζώνης του δικτύου [94].

## 2.4.5 Bluetooth

---

Το Bluetooth είναι ένα άλλο σύννηθες σύστημα ασύρματων επικοινωνιών που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή δεδομένων σε μικρές αποστάσεις. Χρησιμοποιεί ραδιομετάδοση μικρού μήκους κύματος. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων καθώς και η ευρεία διαθεσιμότητα. Η τεχνολογία Bluetooth αναπτύχθηκε από τους μηχανικούς της Ericsson το 1994. Αργότερα, μια ομάδα εταιρειών άρχισε να χρησιμοποιεί το Bluetooth και έκανε μια ομάδα ειδικού ενδιαφέροντος (SIG) για να διατηρήσει και να ενισχύσει αυτή την τεχνολογία. [95] Το πρότυπο IEEE για το Bluetooth είναι το IEEE 802.15.1. Υπάρχουν δύο τοπολογίες που χρησιμοποιούνται στο Bluetooth, το Piconet και το Scatternet. Το Piconet σχηματίζεται από ένα ασύρματο δίκτυο προσωπικής περιοχής (WPAN), στο οποίο μια κινητή συσκευή λειτουργεί ως master και άλλες κινητές συσκευές θα λειτουργούν ως δούλοι. Ένα Scatternet αποτελείται από δύο ή περισσότερα Piconets. Το Bluetooth μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνίες μεταξύ των έξυπνων οικιακών συσκευών, του EMS και του έξυπνου μετρητή. Έχει μέγιστο ρυθμό δεδομένων 1 Mbps, ονομαστικό εύρος 10 m, 79 κανάλια RF, 1 MHz bandwidth κανάλι και 8 κόμβους max. Το Bluetooth έχει τρεις κλάσεις, δηλ. Την κλάση 1, την κλάση 2 και την κλάση 3 που έχουν διαφορετικό εύρος. Το Bluetooth έχει πολύ μικρό εύρος τιμών το οποίο μπορεί να είναι ένα πρόβλημα κατά τη χρήση αυτής της τεχνολογίας σε έξυπνα HANs, καθώς ενδέχεται να υπάρχουν μεγαλύτερες αποστάσεις. Επιπλέον, υποστηρίζει περιορισμένο αριθμό κόμβων που μπορεί να είναι σοβαρός περιορισμός στα HAN. Το Bluetooth, όπως και πολλές άλλες τεχνολογίες, λειτουργεί σε χαμηλή ισχύ, πράγμα που σημαίνει ότι ο ισχυρός θόρυβος μπορεί να προκαλέσει απώλεια ή φθορά σημάτων.

Επιπλέον, λειτουργεί σε 2,4 GHz και έχει προβλήματα παρεμβολής με άλλες ασύρματες τεχνολογίες όπως Wi-Fi, ZigBee κ.λπ. με την ίδια συχνότητα συστήματος. Επιπλέον, το Bluetooth έχει ορισμένα εγγενή προβλήματα ασφάλειας. Από την άλλη πλευρά, η πιο πρόσφατη έκδοση του Bluetooth v4.0 έχει εισαγάγει τεχνολογία χαμηλής ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία χαμηλής ενέργειας διερευνάται από ερευνητές για υποστήριξη IP [96].

## 2.4.6 6LoWPAN

---

Το 6LoWPAN επιτρέπει στην IEEE 802.15.4 και IPv6 να συνεργαστούν για να επιτύχουν δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης ισχύος μικρών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, ελεγκτών κλπ. Το 6LoWPAN είναι ένα διεθνές ανοιχτό πρότυπο που επιτρέπει το ασύρματο Internet στο σπίτι. Διάφοροι προμηθευτές τεχνολογίας προσπαθούν να υιοθετήσουν πρωτόκολλα βασισμένα στο 6LoWPAN για να επιτύχουν λειτουργικότητα IP. Επιπλέον, το πρωτόκολλο IP έχει αποδειχθεί ως μια σταθερή και εξαιρετικά επεκτάσιμη τεχνολογία που υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συσκευών και βασικών τεχνολογιών επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η ZigBee Alliance έχει αναπτύξει μια προδιαγραφή δικτύου IP, το ZigBee IP, η οποία βασίζεται σε πρωτόκολλα IETF, συμπεριλαμβανομένου του 6LoWPAN [31].

Το 6LoWPAN χρησιμοποιεί τοπολογία πλέγματος για να υποστηρίξει υψηλή κλιμάκωση. Η επεκτασιμότητα επηρεάζεται επίσης από την επιλογή των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Για παράδειγμα, η ιεραρχική δρομολόγηση είναι ένα από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στο 6LoWPAN για την αύξηση της κλιμάκωσης του δικτύου. [97] Η τοπολογία πλέγματος προσφέρει επίσης τη δυνατότητα αυτοθεραπείας στο δίκτυο, καθώς η κυκλοφορία μπορεί να μεταφερθεί σε περίπτωση σπασμένου συνδέσμου. Το 6LoWPAN προσφέρει υψηλή διαλειτουργικότητα, καθώς η IP υποστηρίζεται στις περισσότερες από τις σύγχρονες τεχνολογίες. Η ασφάλεια του 6LoWPAN είναι μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές και συνεχίζονται οι προσπάθειες για τη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας [98].

## 2.4.7 UWB

---

Το Ultra-Wide Band (UWB) είναι μια ραδιοφωνική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία υψηλού ρυθμού δεδομένων σε μικρές αποστάσεις. Το μοναδικό χαρακτηριστικό του είναι ότι το εύρος ζώνης του είναι μέχρι 480Mbps το οποίο είναι κατάλληλο για την παράδοση ήχου και εικόνας στο σπίτι. Το UWB χρησιμοποιεί μέθοδο πολλαπλής ζώνης (DS-UWB) και πολλαπλής ζώνης πολλαπλών συχνοτήτων (MB-OFDM) για τη μετάδοση πληροφοριών σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα καταλαμβάνουν μεγάλο εύρος ζώνης ενώ τα συμβατικά ραδιοφωνικά μεταδίδουν πληροφορίες μεταβάλλοντας το επίπεδο ισχύος και τη συχνότητα. Το UWB έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν πιο ελκυστικό, όπως:



- Χαμηλή πολυπλοκότητα και χαμηλό κόστος.
- Ανθεκτικότητα σε σοβαρή διαδρομή και εμπλοκή.
- Έχει ένα φάσμα σήματος που μοιάζει με θόρυβο.
- Πολύ καλή ανάλυση χρόνου για τις εφαρμογές εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης. [99]

## 2.4.8 Z-Wave

---

Το Z-Wave αποτελεί ένα ιδιόκτητο πρότυπο προοριζόμενο αποκλειστικά για απομακρυσμένες εφαρμογές σε κατοικημένες και επιχειρηματικές περιοχές. Αυτό το πρωτόκολλο λειτουργεί στα 868 MHz στην Ευρώπη και στη ζώνη ISM των 908 MHz στις ΗΠΑ. Έχει συνήθως εσωτερική περιοχή 30 m, η οποία εκτείνεται μέχρι και 100 m, σε εξωτερικούς χώρους. Το δίκτυο πλέγματος αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται στο Z-Wave που ουσιαστικά σημαίνει απεριόριστο εύρος ζώνης. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας προέρχονται από την απλή δομή των εντολών, την ελευθερία από την παρεμβολή στο hold house, το μέσο ελέγχου χαμηλού εύρους ζώνης και την υποστήριξη IP. Το Z-Wave προσέφερε χαμηλό ρυθμό δεδομένων 9,6 kbps. Ωστόσο ο έχει δυνατότητα επέκτασης στα 40 kbps. Η σειρά Z-Wave 400 υποστηρίζει επίσης ζώνη 2,4 GHz και ταχύτητα δεδομένων 200 kbps.

Το Z-Wave δρομολογεί αυτόματα το μήνυμα από τον έναν κόμβο στον άλλο λόγω της δυνατήτας δρομολόγησης όλων των κόμβων. Οι ελεγκτές και οι σκλάβοι είναι δύο τύποι συσκευών που ορίζονται από το Z-Wave. Ο ελεγκτής διατηρεί την τοπολογία του δικτύου. Οι σκλάβοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως δρομολογητές και είναι χρήσιμοι για την παρακολούθηση των αισθητήρων. Το Z-Wave μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως φωτισμό, απομακρυσμένο έλεγχο και συστήματα ασφαλείας που απαιτούν λειτουργίες δεδομένων χαμηλού εύρους ζώνης. [100]

## 2.4.9 Ραδιοσυχνότητες (RF)

---

Οι τεχνολογίες ραδιοσυχνότητας (RF) για την ανάπτυξη έξυπνων μετρήσεων είναι ειδικά διαδεδωμένες στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στην τεχνολογία RF, οι μετρήσεις και άλλα δεδομένα μεταδίδονται μέσω ασύρματου ραδιοφώνου από τα SM σε ένα σημείο συλλογής. Τα δεδομένα στη συνέχεια παραδίδονται στο CC για επεξεργασία. Η πιο γνωστή τοπολογία είναι το RF mesh, στο οποίο οι SM μιλούν μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα σύννεφο τοπικού δικτύου πρόσβασης (LAN) σε ένα συλλέκτη. Το RF mesh έχει αποδεκτή καθυστέρηση και μεγάλο εύρος ζώνης και γενικά λειτουργεί σε ζώνες ελεύθερης άδειας. Επιπροσθέτως, το αυτο-θεραπευτικό χαρακτηριστικό του δικτύου επιτρέπει στα σήματα επικοινωνίας να βρουν μια άλλη διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων εάν οποιοσδήποτε κόμβος απομακρυνθεί από το δίκτυο.

Ωστόσο, αυτό είναι μια ιδιόκτητη προσφορά και το έδαφος και οι μεγάλες αποστάσεις που είναι χαρακτηριστικές για τις αγροτικές περιοχές αποτελούν πρόκληση για την ανάπτυξή της.

Είναι συνηθισμένο να βρεθούν τεχνολογίες κυψέλης RF που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές Smart Metering στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η ευρεία κάλυψη και το χαμηλό κόστος συντήρησης που προσφέρουν. Επιπλέον, η κυψελοειδής τεχνολογία έχει βιώσει μια ταχεία ανάπτυξη, με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερους ρυθμούς μετάδοσης bit και περισσότερες πιθανές εφαρμογές. [101]

## 2.4.10 Σύγκριση Ασύρματων Τεχνολογιών HAN Και NAN

Συγκρίνοντας τις ασύρματες τεχνολογίες των ασύρματων τεχνολογιών HAN δηλαδή το ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth και 6LoWPAN παρατηρούμε ότι το Wi-Fi έχει πλεονεκτήματα μεγαλύτερης κάλυψης και ευρείας διαθεσιμότητας, το Bluetooth είναι εύκολα προσβάσιμο και παρέχει ασφαλείς επικοινωνίες μικρής εμβέλειας. Το 6LoWPAN προσθέτει λειτουργικότητα IP σε WPANs και καταναλώνει χαμηλή ισχύ. Ενώ το ZigBee φιλοξενεί πολύ περισσότερους κόμβους, λειτουργεί με χαμηλή ισχύ και απαιτεί χαμηλό κόστος. Το ZigBee μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε HAN, καθώς και για έξυπνη μέτρηση εάν χρησιμοποιείται σε δομή πλέγματος. Μπορεί επίσης να παρέχει απομακρυσμένη παρακολούθηση του έξυπνου μετρητή και άλλων συσκευών. Το ZigBee έχει αξιόπιστη ασφάλεια και χρησιμοποιεί ισχυρές τεχνικές κρυπτογράφησης.

Έχει πολύ καλύτερη τεχνική δικτύωσης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες που αποφεύγουν τη σύγκρουση καναλιών. Από την άλλη πλευρά, το 6LoWPAN είναι κατάλληλο για συσκευές χαμηλής ισχύος που διαθέτουν δυνατότητα IP, όπως αισθητήρες και ελεγκτές. Το Z-Wave χαρακτηρίζεται από την αξιόπιστη μετάδοση σύντομων μηνυμάτων από τον ελεγκτή σε έναν ή περισσότερους κόμβους.

	ZigBee	Sub-GHz	Wi-Fi	Bluetooth
<b>Physical Layer Standard</b>	802.15.4	Proprietary / 802.15.4g	802.11	802.15.1
<b>Application Focus</b>	Monitoring & control	Monitoring & control	Web, email, video	Cable replacement
<b>Battery Life (days)</b>	100 – 1,000+	1,000+	0.5 - 5	1 - 7
<b>Network Size</b>	100s to 1,000s	10s to 100s	32	7
<b>Bandwidth (Kbits/s)</b>	20 - 250	0.5 – 1,000	11,000+	720
<b>Range (meters)</b>	1 – 100+	1 – 7,000+	1 – 30+	1 – 10+
<b>Network Architecture</b>	Mesh	Point-to-point, star	Star	Star
<b>Optimized For</b>	Reliability, low power, low cost, scalability	Long range, low power, low cost	Speed	Low cost, convenience
<b>Silicon Labs Products</b>	Ember® ZigBee® EM35x Series	EZRadio®, EZRadioPRO®, Si10xx wireless MCUs	N/A	N/A

Πίνακας 5 : Σύγκριση βασικών ασύρματων τεχνολογιών

Στα δίκτυα NAN το εύρος ζώνης και το φάσμα του WiMAX το καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές έξυπνων δικτύων. Ωστόσο, προϋπάρχοντα κυψελοειδή δίκτυα με επαρκές εύρος ζώνης, υψηλά ποσοστά δεδομένων, εκτεταμένη κάλυψη, χαμηλότερο κόστος συντήρησης και ισχυρή ασφάλεια μπορούν να εξοικονομήσουν επενδύσεις κεφαλαίων σε υποδομές ειδικών υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και να επιτρέψουν την ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών. Ωστόσο, η χρήση των προϋπάρχον κυψελοειδών δικτύων θα αυξήσει το λειτουργικό κόστος σε όρους μηνιαίων επαναλαμβανόμενων χρεώσεων. Ένα ειδικό δίκτυο κυψελοειδούς δικτύου μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα και αξιοπιστία με μειωμένο λειτουργικό κόστος. Είναι προφανές ότι τα HAN και τα NAN έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις επικοινωνίας. Το περιβάλλον λειτουργίας, το εύρος κάλυψης, οι ρυθμοί δεδομένων και οι απαιτήσεις ασφάλειας είναι ιδιαίτερα διαφορετικές. Τα Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, 6LowPAN και Z-Wave είναι αρκετά κατάλληλα για HAN. Το ZigBee μπορεί να προτιμάται λόγω της υποστήριξης μεγάλου αριθμού κόμβων και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όμως το 6LowPAN ή Z-Wave μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί λειτουργικότητα IP.

Το Wi-Fi μπορεί να ληφθεί υπόψη λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για ορισμένες προηγμένες εφαρμογές. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα WiMAX και GSM βασίζονται σε πολλά οφέλη για τα NAN, όπως ο υψηλός ρυθμός δεδομένων, μεγαλύτερη κάλυψη και προηγμένα πρωτόκολλα ασφάλειας. Η επιλογή μεταξύ ενός ιδιόκτητου δικτύου και ενός προϋπάρχοντος κυψελοειδούς δικτύου εξαρτάται από τις πολιτικές του συγκεκριμένου βοηθητικού προγράμματος, τον προϋπολογισμό κλπ. [102]

## Κεφάλαιο 3 : Εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων

---

Το έξυπνο δίκτυο έχει πολλές εφαρμογές όπως AMI, DA, HEMS, διαχείριση EVs, ενσωμάτωση της καταναλωμένης παραγωγής ενέργειας (DG) από σύγχρονα ορόσημα πλέγματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μαζί με ένα προηγμένο σύστημα διανομής, μετάδοσης και την ενσωμάτωση των ενεργειακών αυτών στοιχείων. Οι έξυπνοι μετρητές σε μια γειτονιά συνδέονται με συλλέκτες δεδομένων που χρησιμεύουν ως κεντρικές μονάδες. Μαζί σχηματίζουν ένα NAN. Θεωρητικά, αυτοί οι συλλέκτες δεδομένων μπορούν να είναι μέρος είτε των έξυπνων μετρητών είτε ξεχωριστών συσκευών. Κάθε συλλέκτης δεδομένων συνδέεται με ένα δίκτυο ευρείας περιοχής AMI ή με ένα backhaul μέσω ενός σημείου συλλογής. Όλα αυτά τα δεδομένα παρέχονται σε μια εφαρμογή διαχείρισης ενός διακομιστή. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια καταναλωμένη εφαρμογή διαχείρισης σε πολλαπλούς διακομιστές.

Ένα NAN έχει απόσταση κάλυψης λίγων τετραγωνικών μιλίων. Απαιτεί εύρος ζώνης της τάξης 100-500 kbps και αμφίδρομες επικοινωνίες. Συνήθως, η AMI απαιτεί σπάνιες μεταδόσεις ανερχόμενης ζεύξης με μικρά μεγέθη πακέτων που οδηγούν σε απαιτήσεις χαμηλού εύρους ζώνης για μεμονωμένους καταναλωτές και είναι ανεκτικές σε λανθάνουσα κατάσταση.

Τα συστήματα AMI χρησιμοποιούν συνήθως ένα διάστημα επικοινωνίας από 15 λεπτά έως μία φορά την ώρα. Η υποστήριξη εκπομπής και η πολυεκπομπή συμβάλλουν στην αποφυγή ανάγνωσης διαδοχικών μετρητών στα δίκτυα AMI. Τα πιθανά προβλήματα απορρήτου και ασφάλειας σχετίζονται με την ασύρματη επικοινωνία των μετρητικών δεδομένων. Οι πληροφορίες κατανάλωσης είναι ένας καλός δείκτης των καθημερινών δραστηριοτήτων του καταναλωτή και της παρουσίας ή της απουσίας. Ως εκ τούτου, όπως τα παρόμοια συστήματα διαδικτύωσης, η AMI είναι ευάλωτη σε απειλές και υπάρχει ανάγκη κρυπτογράφησης στο τέλος της διαδικασίας για την παροχή εμπιστευτικότητας των δεδομένων μέτρησης. Η κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας και οι μη τεχνικές απώλειες είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα της διανομής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

## 3.1 AMI

---

Η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) αναφέρεται σε ένα σύστημα συλλογής, μέτρησης και ανάλυσης της χρήσης ενέργειας, επιτρέποντας την αποστολή δεδομένων εμπρός και πίσω μέσω ενός αμφίδρομου δικτύου επικοινωνιών που συνδέει τους έξυπνους μετρητές με τα συστήματα ελέγχου του βοηθητικού προγράμματος [62]. Η AMI παρέχει στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρωτοφανείς δυνατότητες διαχείρισης του συστήματος, επιτρέποντας για πρώτη φορά τη δυνατότητα στους χρήστες να κάνουν ενημερωμένες επιλογές σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη χρήση ενέργειας.

Εκατομμύρια έξυπνα μετρητές αναπτύσσονται επί του παρόντος σε όλο τον κόσμο. Υπάρχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων AMI:

1. **Ο υλικός έξυπνος μετρητής** ο οποίος αντικαθιστά τους παλαιότερους μηχανικούς μετρητές που δεν μπορούν να επικοινωνήσουν
2. **Το δίκτυο επικοινωνιών** που είναι απαραίτητο για τη μεταφορά των δεδομένων που παράγει ο μετρητής.

Η AMI μπορεί να αναλυθεί ως αποτέλεσμα δύο ξεχωριστών επιπέδων: το επίπεδο εφαρμογής και το επίπεδο μεταφοράς.

Το **επίπεδο εφαρμογής** αφορά τη συλλογή δεδομένων, την παρακολούθηση και τον επιχειρησιακό έλεγχο, που σχετίζονται με την αποτελεσματική διαχείριση του συνολικού ηλεκτρικού δικτύου. Στο επίπεδο εφαρμογής, πραγματοποιείται επίσης ανάλυση δεδομένων. Ο στόχος είναι οι πληροφορίες που αποστέλλονται από τα εκατομμύρια των τελικών σημείων να μετατραπούν σε "ενεργητική νοημοσύνη" ικανή να βοηθήσει τους χειριστές δικτύου να επιτύχουν αποτελεσματική και προσαρμοστική παροχή και αξιοποίηση της εξουσίας, καθώς και εξασφάλιση αξιοπιστίας και ασφάλειας.

Το **επίπεδο μεταφοράς** ασχολείται με τη μετακίνηση πληροφοριών εμπρός και πίσω από το βοηθητικό πρόγραμμα στον χρήστη ενέργειας. Αυτό γίνεται με τη μεταφορά δεδομένων σε μια σειρά διασυνδεδεμένων δικτύων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο λόγος για τον οποίο η AMI λαμβάνει τόσο μεγάλη προσοχή είναι επειδή η κατασκευή του μεταφορικού στρώματος θα επιτρέψει σε πολλές άλλες προηγμένες εφαρμογές να λειτουργούν, καθώς θα υπάρχει μια επικοινωνιακή υποδομή δικτύου μεταξύ του τελικού χρήστη και του βοηθητικού προγράμματος.

Μια υποδομή επικοινωνίας AMI επιτρέπει μια πληθώρα νέων εφαρμογών, οι οποίες μπορούν να περιλαμβάνουν:

- Απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητών για χρέωση.
- Δυνατότητες απομακρυσμένης σύνδεσης / αποσύνδεσης.
- Ανίχνευση και διαχείριση βλαβών.
- Ανίχνευση λαθών / κλοπής.
- Αναγνώσεις ενέργειας μικρού διαστήματος (οι οποίες χρησιμεύουν ως βάση για τους ενεργειακούς συντελεστές βάσει της αγοράς).
- Κατανεμημένη παρακολούθηση και διαχείριση γενεών [103, 101].

Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές με την χρήση AMI αποτελεί η ζήτηση-απόκριση, η οποία δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να απενεργοποιούν / καταργούν τα τελικά σημεία του δικτύου σε πραγματικό χρόνο όπως (θερμοστάτες, HVACs, συστήματα φωτισμού κλπ.), βάσει προκαθορισμένων συμβατικών συμφωνιών με πελάτες, προκειμένου να περιοριστεί η αιχμή της ζήτησης.

Η ανάπτυξη συστημάτων AMI δεν αποφέρει από μόνη της, πολλές από αυτές τις βελτιώσεις του μετασχηματιστικού συστήματος και αυτό είναι ένα σημείο που υπάρχουν αμφισβητίες για την καταλληλότητα των συστημάτων AMI. Γεγονός αποτελεί πως οι έξυπνοι μετρητές δεν κάνουν τίποτα για να μειώσουν τη χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, έτσι, οι καταναλωτές και οι επιτροπές κοινής ωφέλειας πρέπει να κατανοήσουν ότι η επιτυχής ανάπτυξη της AMI είναι αυτή που ενσωματώνει και επιτρέπει όχι μόνο μερικά από τα πιο προφανή οφέλη της AMI, αλλά ότι δημιουργεί μια πλατφόρμα για ένα εντελώς νέο σύστημα διανομής και διαχείρισης ενέργειας.

Προκειμένου να επιτευχθούν τα ευρύτερα οφέλη του Smart Grid, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρέπει να αξιοποιήσουν την AMI ως μια μετασχηματιστική πρωτοβουλία και όχι απλώς μια άλλη τεχνολογική ανάπτυξη. Εκτός εάν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας συνδυάζουν τις υλοποιήσεις AMI με μια ευρύτερη επιχειρησιακή αναθεώρηση, το αποτέλεσμα θα είναι πιθανώς μια μεγάλης κλίμακας χαμένη ευκαιρία με μια μελλοντική ανάγκη για δαπανηρή ολοκλήρωση συστημάτων και αντικατάσταση αναβαθμίσεων. [104]

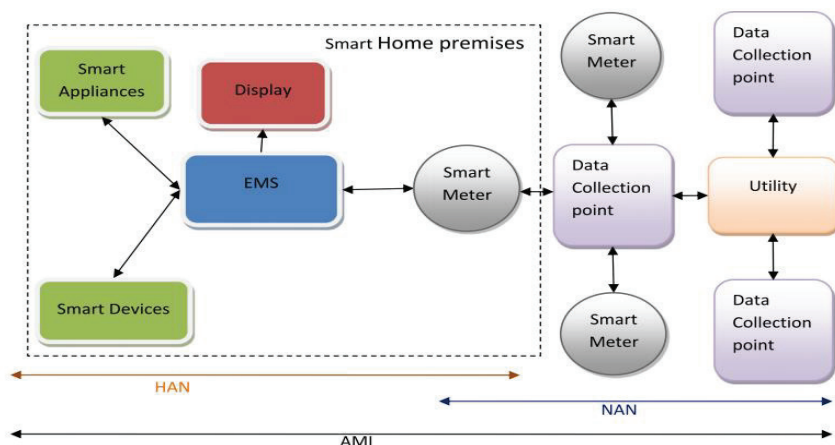
## 3.2 HEMS

Στον ενεργειακό τομέα απαιτείται ο δυναμικός έλεγχος της ζήτησης προκειμένου να εξοικονομηθεί κόστος για επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και καταναλωτές. Επιπλέον, οι καταναλωτές θέλουν να κατανοήσουν καλύτερα την ενεργειακή αυτή απόδοση και να γνωρίζουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να αποτελούν μέρος αυτής της αποτελεσματικής διαχείρισης ενέργειας.

Επιπλέον, η αυξανόμενη τάση για έξυπνες οικιακές συσκευές απαιτεί αξιόπιστη ενέργεια. Σε πολλές χώρες, υπάρχει ανάγκη επιλεκτικής απόρριψης φορτίου ή άμεσου ελέγχου φορτίου (DLC) με βάση τα δίκαια και εφαρμόσιμα κριτήρια επιλογής φορτίων για την επίλυση της πρόσφατης ενεργειακής κρίσης. Η εφαρμογή αυτού του μηχανισμού DLC υπόκειται στην παροχή HEMS που θα τοποθετηθεί στις εγκαταστάσεις του χρήστη.

Βασικό θέμα αποτελεί η συνεχής γνώση της χρήσης ενέργειας και ο έλεγχος της ροής ενέργειας για σκοπούς όπως αποτελεσματική εξοικονόμηση χρημάτων, δυνατότητες αυτοματισμών, απομακρυσμένος έλεγχος κλπ.

Η ροή πληροφοριών από συσκευές σε HEMS μέσω αισθητήρων και ενός αποτελεσματικού δίκτυο αισθητήρων απαιτείται για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας και απόδοσης. Το HEMS ωφελεί τόσο τις συσκευές όσο και τον καταναλωτή επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ενέργειας. Ο ρόλος του είναι η έξυπνη παρακολούθηση και έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της διασύνδεσης με έξυπνες συσκευές, έξυπνες εφαρμογές, έξυπνες υποδοχές και έξυπνους μετρητές, καθώς και παρέχει δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου. Το δίκτυο επικοινωνιών που συνδέει το HEMS με τις έξυπνες συσκευές σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις είναι το HAN. Ένας έξυπνος μετρητής προορίζεται για βασικές λειτουργίες έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και χωρίς απαίτηση συχνής αναβάθμισης λογισμικού ή υλικού. Για τις πολύπλοκες διαδικασίες, χρησιμοποιείται ξεχωριστό HEMS. [105]



Σχήμα 18 : Δομή επικοινωνίας συσκευών HEMS με έξυπνες συσκευές και εφαρμογές



Οι HEMS παρέχουν ένα ορισμένο επίπεδο νοημοσύνης που εφαρμόζεται σε λογισμικό όπου μπορεί να αποτελεί κομμάτι ενός αποκλειστικού υλικού. Η αναβάθμιση και η εγκατάσταση νέων λειτουργιών και πρωτοκόλλων σε ένα σύστημα EMS είναι ανεξάρτητη από τους έξυπνους μετρητές. Το Advanced HEMS μπορεί επίσης να περιλαμβάνει και άλλες πτυχές του HAN όπως τα συστήματα ασφαλείας. Οι καταναλωτές επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό από ένα τέτοιο σύστημα καθώς μπορούν να παρακολουθούν την πραγματική ενέργεια που καταναλώνουν οι επιμέρους συσκευές. Επιπλέον, συγκρίνουν την ενεργειακή απόδοση διάφορων συσκευών και ελέγχουν διάφορες συσκευές όπως συστήματα κλιματισμού και εξαερισμού, έξυπνες συσκευές και έξυπνα βύσματα κλπ. Από την άλλη πλευρά, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας επωφελούνται επίσης από το HEMS καθώς η διαχείριση φορτίου αιχμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τα υπάρχουσα διαθέσιμα δεδομένα. Η δυναμική αυτή διαχείριση απόκρισης ζήτησης η οποία είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό του συστήματος έξυπνου δικτύου μπορεί να ενσωματωθεί με τα μεμονωμένα προφίλ των νοικοκυριών χρησιμοποιώντας το HEMS. [106]

### 3.3 DA και DER's

---

Το DA (Αυτοματισμός Διανομής) εφαρμόζει προηγμένες τεχνολογίες ελέγχου και επικοινωνίας και ενσωματώνει ψηφιακούς ελεγκτές, διακόπτες και αισθητήρες για τη βελτίωση ή την αυτοματοποίηση των λειτουργιών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που προηγουμένως δεν ήταν δυνατές ή πραγματοποιήθηκαν με ηλεκτρομηχανικές ή χειροκίνητες διαδικασίες. Για την υλοποίηση DA, προηγμένες συσκευές πεδίου είναι συνήθως εξοπλισμένες με ραδιοφωνική, ασύρματη ή κυψελοειδή επικοινωνία για τη μετάδοση δεδομένων σε σημεία συλλογής και τελικά πίσω σε κέντρα ελέγχου χρησιμοποιώντας δίκτυα επικοινωνιών backhaul. Στο κέντρο ελέγχου, τα δεδομένα είναι συνήθως ενσωματωμένα στο σύστημα εποπτείας ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA), στο σύστημα διαχείρισης διανομής (DMS) και στο σύστημα διαχείρισης σφάλματος (OMS) για επεξεργασία, ανάλυση και δράση είτε αυτόματα είτε από φορείς εκμετάλλευσης. Βασικές συσκευές αυτοματισμού διανομής αποτελούν:

#### **Απομακρυσμένοι δείκτες βλάβης:**

Οι απομακρυσμένοι δείκτες σφαλμάτων είναι αισθητήρες που ανιχνεύουν πότε τα επίπεδα τάσης και ρεύματος στους τροφοδότες βρίσκονται εκτός των κανονικών ορίων λειτουργίας. Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να καθορίσουν γρήγορα τη θέση ενός σφάλματος ή να διακρίνουν μεταξύ σφάλματος και προσωρινών υψηλών φορτίων, όπως υψηλό ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα. Οι δείκτες βλαβών μπορούν να εξοπλιστούν με οπτικές ενδείξεις για να ευκολύνουν την σύνδεση με δίκτυα επικοινωνιών που είναι ενσωματωμένα σε SCADA, OMS ή DMS για μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό σφαλμάτων.

### **Έξυπνα ρελέ:**

Τα έξυπνα ρελέ εφαρμόζουν εξελιγμένο λογισμικό για την ακριβή ανίχνευση, απομόνωση και διάγνωση της αιτίας βλαβών. Μπορούν να εγκατασταθούν σε υποσταθμούς κοινής ωφελείας για προστασία τροφοδοσίας ή σε συσκευές αυτοματοποιημένων συστημάτων μεταγωγής. Οι ελεγκτές της συσκευής ενεργοποιούνται σύμφωνα με τις ρυθμίσεις εξοπλισμού και τους αλγόριθμους. Τα ρελέ επίσης αποθηκεύουν και επεξεργάζονται δεδομένα για αποστολή σε αρμόδιους φορείς και back office συστήματα για περαιτέρω ανάλυση. Οι πρόσφατες τεχνολογίες αισθητήρων και ρελέ βελτίωσαν την ανίχνευση σύνθετων σφαλμάτων υψηλής αντίστασης που είναι δύσκολο να ανιχνευθούν με συμβατικά ρελέ που συμβαίνουν όταν τα ηλεκτρικά καλώδια επικοινωνούν με ένα ξένο αλλά η επαφή παράγει μόνο χαμηλό ρεύμα σφάλματος.

### **Αυτόματοι διακόπτες τροφοδοσίας:**

Οι αυτοματοποιημένοι διακόπτες τροφοδοσίας ανοίγουν και κλείνουν για να απομονώσουν τα σφάλματα και να επαναδιαμορφώσουν τα ελαττωματικά τμήματα του τροφοδότη διανομής για να αποκαταστήσουν την κατανάλωση ενέργειας στους πελάτες σε τμήματα γραμμής χωρίς σφάλμα.

Συνήθως διαμορφώνονται έτσι ώστε να λειτουργούν με έξυπνα ρελέ για να λειτουργούν ως απόκριση σε εντολές ελέγχου από αυτόνομα πακέτα ελέγχου, συστήματα διαχείρισης διανομής ή σήματα από φορείς εκμετάλλευσης δικτύου. Οι διακόπτες μπορούν επίσης να ρυθμιστούν ώστε να ανοίγουν και να κλείνουν σε προκαθορισμένες ακολουθίες και διαστήματα όταν ανιχνεύονται ρεύματα σφάλματος. Αυτή η ενέργεια, γνωστή ως επαναλειτουργία και χρησιμοποιείται για να διακόψει τη ροή ισχύος σε έναν τροφοδότη ο οποίος έχει επηρεαστεί από ένα εμπόδιο και πρέπει να ανανεωθεί μετά την αποκοπή του εμποδίου από τη γραμμή. Η επαναλειτουργία μειώνει την πιθανότητα παρατεταμένων διακοπών όταν τα δέντρα και άλλα αντικείμενα έρχονται σε προσωρινή επαφή με τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια καταιγίδων και υψηλών ανέμων.

### **Αυτοματοποιημένοι πυκνωτές:**

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας χρησιμοποιούν πυκνωτές για να αντισταθμίσουν τις απαιτήσεις άεργου ισχύος που προκαλούνται από επαγωγικά φορτία εξοπλισμού του πελάτη, μετασχηματιστές ή εναέριες γραμμές. Η αντιστάθμιση για την άεργη ισχύ μειώνει τη συνολική ισχύ που πρέπει να παρασχεθεί από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, με αποτέλεσμα ένα πιο σταθερό προφίλ τάσης κατά μήκος του τροφοδότη και μείωση της ενέργειας που χάθηκε από τις απώλειες ηλεκτρικού ρεύματος στον τροφοδότη. Μια τράπεζα πυκνωτών διανομής αποτελείται από μια ομάδα πυκνωτών συνδεδεμένων μεταξύ τους. Η χωρητικότητα των τραπεζών που είναι εγκατεστημένες στους τροφοδότες διανομής εξαρτάται από τον αριθμό των πυκνωτών και κυμαίνεται συνήθως από 300 έως 1.800 kVAR. Οι συστοιχίες πυκνωτών συναρμολογούνται σε δομές υποσταθμών, πόλους διανομής ή σε περιβλήματα.

### **Αυτόματοι ρυθμιστές τάσης και μετασχηματιστές φορτίου:**

Οι ρυθμιστές τάσης είναι τύποι μετασχηματιστών που πραγματοποιούν μικρές προσαρμογές στα επίπεδα τάσης σε απόκριση μεταβολών στο φορτίο. Εγκαθίστανται σε υποσταθμούς και τροφοδοτικών διανομής για την ρύθμιση της καθοδικής τάσης. Οι ρυθμιστές τάσης έχουν πολλαπλές θέσεις "άνω" και "κάτω" και μπορούν να προσαρμοστούν αυτόματα αναλόγως τις διαμορφώσεις του τροφοδότη, τα φορτία και τις ρυθμίσεις της συσκευής. Για παράδειγμα, καθώς αυξάνεται το φορτίο στους τροφοδότες διανομής, αυξάνεται επίσης και η πτώση της τάσης κατά μήκος αυτών των τροφοδοτών. Ένας ρυθμιστής τάσης στον τροφοδότη ανιχνεύει τότε οι τάσεις είναι πάνω ή κάτω από τα επίπεδα στόχου και στη συνέχεια ρυθμίζει αυτόματα τις τάσεις ώστε να παραμείνουν εντός της επιθυμητής περιοχής.

### **Αυτοματοποιημένες οθόνες τροφοδοσίας:**

Οι οθόνες τροφοδοσίας παρακολουθούν τη μέτρηση του φορτίου στις γραμμές διανομής και στον εξοπλισμό και μπορούν να ενεργοποιήσουν συναγερμούς όταν ο εξοπλισμός ή οι φορτίσεις γραμμής φθάνουν σε επικίνδυνα επίπεδα. Οι οθόνες παρέχουν δεδομένα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο σε back office συστήματα και εργαλεία ανάλυσης, ώστε οι διαχειριστές δικτύου να μπορούν να αξιολογήσουν αποτελεσματικά τις τάσεις φόρτωσης και να αναλάβουν διορθωτικές ενέργειες αλλαγής, όπως είναι η λήψη εκτός σύνδεσης, η μεταφορά φορτίου ή η επισκευή εξοπλισμού όταν είναι απαραίτητο. Αυτές οι συσκευές πεδίου χρησιμοποιούνται σε συντονισμό με συστήματα πληροφοριών και ελέγχου για την αποτροπή διακοπών λόγω βλάβης του εξοπλισμού ή συνθηκών υπερφόρτωσης.

### **Οθόνες μετασχηματιστών:**

Οι οθόνες μετασχηματιστών είναι αισθητήρες για την υγεία του εξοπλισμού με σκοπό την μέτρηση παραμέτρων όπως θερμοκρασίες λαδιού του μετασχηματιστή ισχύος, οι οποίες μπορούν να αποκαλύψουν δυνατότητες για μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας και πρόωρες βλάβες. Αυτές οι συσκευές μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να μετρούν διαφορετικές παραμέτρους σε πολλούς τύπους συσκευών. Συνήθως, οι συσκευές αυτές εφαρμόζονται σε μετασχηματιστές υποσταθμών και σε άλλους εξοπλισμούς των οποίων η αποτυχία θα είχε ως αποτέλεσμα σημαντική αξιοπιστία και κόστος για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και πελάτες.

Τα συστήματα DER περιλαμβάνουν μια ποικιλία τεχνολογιών όπως φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα, παλινδρομικές μηχανές υψηλής απόδοσης, συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ενέργειας, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, 30 κυψέλες καυσίμου, ηλεκτρικά οχήματα και προγράμματα απόκρισης ζήτησης. Το έξυπνο δίκτυο θα επιτρέψει την ενσωμάτωση των DER σε μεγάλη κλίμακα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η αντίληψη της γενιάς και της μετάδοσης ενέργειας των μεγάλων και απομακρυσμένων μονάδων παραγωγής που παρέχουν ισχύ μέσω μακρών καλωδίων, έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες υπό μορφή θερμότητας. Οι DER μπορούν να παρέχουν ενέργεια με πιο οικονομικό και αποδοτικό τρόπο από τοποθεσίες που προσεγγίζουν τους πελάτες.

Η ενσωμάτωση των DERs δηλαδή των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα τη ροή ισχύος δύο δρόμων σε αντίθεση με την παραδοσιακή ροή ρεύματος μίας διαδρομής. Αυτό δημιουργεί ορισμένα προβλήματα για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής, δεδομένου ότι τα δίκτυα διανομής παλαιού τύπου ήταν στατικά και δεν απαιτούσαν σημαντικές λειτουργίες ελέγχου ή επαναπροσδιορισμού. Ωστό σο, όλα τα DER που θα ενσωματωθούν στο έξυπνο δίκτυο θα έχουν έναν ηλεκτρονικό επεξεργαστή ισχύος και μια διασύνδεση εναλλαγής ισχύος για τον έλεγχο της ανταλλαγής ισχύος και ρευμάτων με το δίκτυο. Έτσι, σε ένα έξυπνο δίκτυο, τα δίκτυα διανομής θα βρίσκονται σε σταθερή κατάσταση αλλαγής ανάλογα με την ποσότητα και την κατεύθυνση της ροής ισχύος. [107]

Αυτό θα απαιτήσει το σύστημα διαχείρισης ενέργειας να υιοθετήσει μια πιο ενεργή προσέγγιση παρά την παραδοσιακή παθητική έτσι ώστε το δίκτυο διανομής να μπορεί να αναδιαμορφωθεί ανάλογα με τις αλλαγές της ροής ισχύος. Τα παραδοσιακά συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, όπως ο Εποπτικός Έλεγχος και η Απόκτηση Δεδομένων (SCADA), μπορούν να τροποποιηθούν για την εφαρμογή της διαχείρισης διανομής. Επίσης, ένα ενεργό σύστημα ελέγχου χρειάζεται πρόσβαση σε πληροφορίες ελέγχου από το δίκτυο διανομής επομένως, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων για την παρακολούθηση των συνθηκών του συστήματος, όπως βλάβες, κατάσταση διακοπών κυκλώματος, διαχωριστές και ανακλαστήρες, διεύθυνση κατεύθυνσης ροής και μέγεθος. Αυτό θα απαιτούσε ένα μεγάλο εύρος ζώνης μετάδοσης και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση έτσι ώστε να παρέχονται ταχέως τα στοιχεία ελέγχου στους ελεγκτές. [108]

## 3.4 EV's

---

Τα τρέχοντα συστήματα μεταφοράς βασισμένα στα ορυκτά καύσιμα αποτελούν σημαντική πηγή ή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το πρόβλημα αυτό έρχονται να λύσουν τα EVs δηλαδή τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία έχουν σημαντικό ρόλο στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την μείωση εισαγωγών ορυκτών καυσίμων. Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ενεργειακό σύστημα επιτρέπει τη χρήση των μπαταριών οχημάτων ως μεγάλη κατανεμημένη αποθήκευση για την εξισορρόπηση της διακύμανσης παραγωγής και φορτίου. Οι μπαταρίες μπορούν να φορτίζουν την ενέργεια όταν υπάρχουν ανανεώσιμες ενέργειες στο δίκτυο και να τις τροφοδοτούν αργότερα στο δίκτυο. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα βοηθούν τη βιομηχανία ενέργειας να βελτιστοποιήσει τη διαχείριση φορτίων των δικτύων τους. Ενσωματώσεις μέσα σε ένα έξυπνο δίκτυο, όπως είναι τα ηλεκτρονικά οχήματα μπορούν να αποφέρουν διάφορα οφέλη σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη όπως βελτιωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια για το smart grid, αυξημένα κέρδη για τους συνδρομητές, καθώς και αυξημένα οφέλη για τους πελάτες EV. [109] Μέσα σε ένα έξυπνο δίκτυο πλέγματος όπου η ροή ηλεκτρικού φορτίου είναι πάντοτε βέλτιστη αναφερόμαστε σε BEV ή PHEV δηλαδή Plug-in ηλεκτρικά οχήματα ειδικά φτιαγμένα για να είναι συμβατά με το δίκτυο μεταφοράς που προσφέρεται από το έξυπνο δίκτυο πλέγματος. Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός BEV και ενός PHEV είναι ότι ένα PHEV χρησιμοποιεί επίσης ορυκτά καύσιμα και έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης για να επεκτείνει την εμβέλεια οδήγησης.

Λόγο της συνεχόμενης ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων η δυνατότητα των οχημάτων προς το δίκτυο V2G μπορεί να γίνει πραγματικότητα. Μια εφαρμογή V2G θα επέτρεπε στους φορείς EV να ενεργούν επίσης ως προμηθευτές του δικτύου. Εάν η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο υπερβαίνει την παροχή κατά τις ώρες αιχμής, τα EV θα μπορούσαν να παρέχουν μέγιστη ισχύ. Επιπλέον, όταν υπάρχει διακοπή του συστήματος ισχύος τα αυτοκίνητα μπορούν να προμηθεύσουν το δίκτυο για μικρό χρονικό διάστημα και να αντικαταστήσουν τις δαπανηρές και περιττές συσκευές μέσα στο δίκτυο. [110]

### Smart Charging

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την εκτέλεση της έξυπνης φόρτισης. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να δοθεί περισσότερος έλεγχος στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που κατέχουν το δίκτυο. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα λαμβάνουν πληροφορίες από τους ιδιοκτήτες αυτοκινήτων όπως, για πόσο διάστημα θα παραμείνουν σταθμευμένες κάπου και πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας για το υπόλοιπο της ημέρας. Βάσει αυτού, το πλέγμα θα μπορούσε να στείλει μηνύματα στα EV όπως το πότε πρέπει να φορτίζει και πότε όχι. Στην περίπτωση του V2G, το πλέγμα θα ενημερώσει επίσης τα EV όταν θα εκφορτωθούν. [111]

Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσαν να βασίζονται σε σύμβαση μεταξύ επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και ιδιοκτητών EV παρέχοντας φθηνότερη ενέργεια στους ιδιοκτήτες PHEV οι οποίοι μπορούν να τηρήσουν τη σχεδιαζόμενη διάρκεια διαμονής τους στο δίκτυο. Επίσης, η παραμονή σε σύνδεση με το δίκτυο θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τους ιδιοκτήτες EV, καθώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως αποθηκευτικός χώρος για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Βάση αυτού του μοντέλου έξυπνης φόρτισης, ο υπολογιστής του V2G μπορεί να ενημερώνει το έξυπνο δίκτυο σχετικά με τις δραστηριότητες που προγραμματίζονται για την ημέρα μαζί με την τοποθεσία και τη διάρκεια τους. [112]

### Τεχνολογικοί παράγοντες

Οι σημαντικότεροι τεχνολογικοί φραγμοί που επηρεάζουν την ενσωμάτωση των EV στο δίκτυο έχουν ξεπεραστεί τα τελευταία χρόνια. Η τρέχουσα υποδομή χρέωσης και τα ηλεκτρικά δίκτυα είναι σε θέση να διαχειριστούν τη διαδικασία φόρτωσης των EV, εκτελώντας ένα τέτοιο EV-grid ολοκλήρωσης. Ορισμένα από τα εναπομένοντα τεχνικά εμπόδια σχετίζονται με το κόστος παραγωγής EV, την αυτονομία, την απόδοση φόρτισης της μπαταρίας, την εκφόρτιση της μπαταρίας και την αντιστρεπτή ικανότητα ροής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου.

#### Κόστος οχήματος:

Με τις τρέχουσες τεχνολογίες, τα υβριδικά plug-in και οι μπαταρίες EVs αποτελούν ακόμα ακριβότερη λύση σε σύγκριση με ένα ισοδύναμο αυτοκίνητο κυρίως λόγω του κόστους της μπαταρίας.

### Αυτονομία:

Η τεχνολογία δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών καθώς η αυτονομία των BEV περιορίζεται σε περίπου 100 χιλιόμετρα. Επομένως, η δημόσια χρέωση μπορεί να μην είναι συμβατή με τους στόχους διαχείρισης φόρτωσης των EV.

### Διαδικασία εκφόρτωσης:

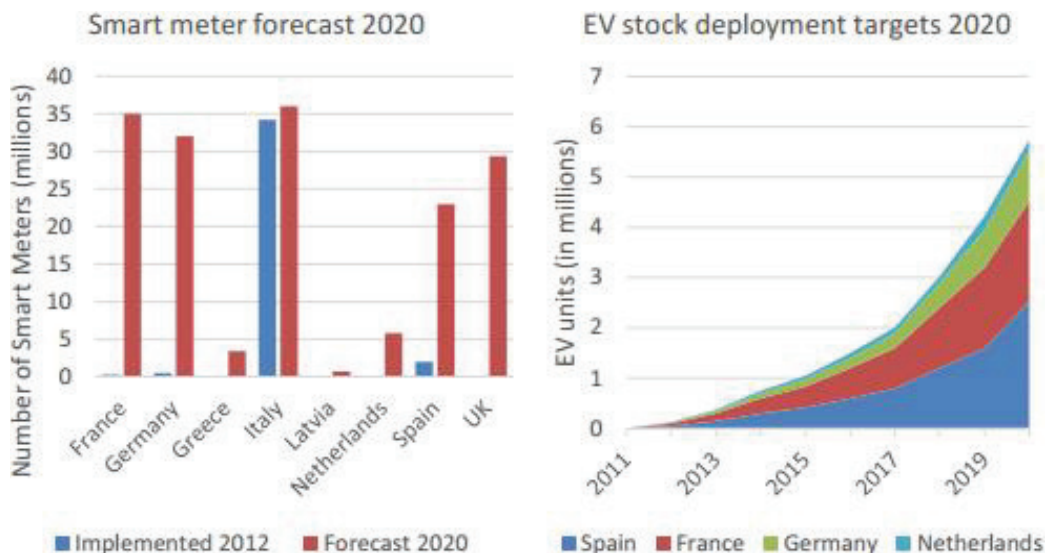
Η ολοκλήρωση του δικτύου EV περιορίζεται από την αδυναμία εκφόρτισης των μπαταριών. Αυτό είναι ανέφικτο με ορισμένες από τις τρέχουσες υποδομές δικτύου και των EV's στην αγορά. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης ή εκφόρτωσης, οι απώλειες ενέργειας είναι περίπου 10% και 15%.

### Διάρκεια ζωής μπαταρίας:

Εάν η μπαταρία χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του έξυπνου δικτύου πλέγματος με δυνατότητα εκφόρτισης τότε επηρεάζεται ταυτόχρονα και η διάρκεια ζωής της. [113]

### Προβλέψεις αγοράς για το 2020

Η "ευφυΐα" ενός ηλεκτρικού δικτύου μπορεί να μετρηθεί μέσω της έξυπνης διείσδυσης του μετρητή καθώς οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του τοπικού δικτύου και τη διείσδυση των φορτιστών EV. Αν υποθεθεί ότι οι φραγμοί στην ανάπτυξη της αγοράς ξεπεραστούν, οι στόχοι για το 2020 όσον αφορά τη διείσδυση των έξυπνων μετρητών φαίνεται να υποσκάπτουν στις εξεταζόμενες ευρωπαϊκές χώρες.



Σχήμα 19 : Ενδείξεις για εφαρμογή συστημάτων Smart Grid σε Ευρωπαϊκές χώρες

Σύμφωνα με το όραμα των κυριότερων ενδιαφερόμενων φορέων του τομέα, η συγκεκριμένη ενσωμάτωση της ΗΕ στο δίκτυο φαίνεται να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το απόθεμα οχημάτων σε μια περιοχή.



Εάν ο αριθμός των EVs σε μια χώρα ή σε μια περιοχή δεν φτάσει σε κρίσιμη τιμή, οι περισσότεροι από τους ενδιαφερόμενους φορείς δεν είναι διατεθειμένοι να δημιουργήσουν συστήματα και υπηρεσίες διαχείρισης τελών EV. Αυτό σημαίνει ότι για περιοχές ή χώρες στις οποίες ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι χαμηλός, η ρύθμιση των υπηρεσιών φόρτωσης των μπαταριών EV δεν δικαιολογείται από την άποψη κόστους-απόδοσης. Οι προσπάθειες και το κόστος καθορίζονται ανεξάρτητα από τον αριθμό των οχημάτων με δυνατότητα plug-in ενώ τα οφέλη εξαρτώνται από το απόθεμα οχημάτων. [114]

## 3.6 Έξυπνο Σπίτι (SEH)

---

Τα σπίτια είναι σημαντικά για την ποιότητα ζωής και την ευημερία του κόσμου. Ως εκ τούτου, η βελτίωση των κατοικιών μέσω καινοτόμων υλικών και τεχνολογικών συστημάτων αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των σπιτιών για την υγεία, την άνεση και τη χρήση ενέργειας. Ένα τέτοιο σπίτι ονομάζεται γενικά ένα έξυπνο σπίτι.

Υπάρχουν πολλά οφέλη που αποδίδονται σε έξυπνα σπίτια. Θεωρούνται ως ένα από τα κύρια συστατικά των πιο έξυπνων και βιώσιμων χώρων διαβίωσης. Ιατρικά, ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να σχεδιαστεί για να βελτιώσει την έγκαιρη ανίχνευση και την πρόληψη των προβλημάτων υγείας και ιατρικών προβλημάτων για να βοηθήσει τους κατοίκους να ζήσουν ποιοτικότερα. Εξάλλου, λόγω του γηράσκοντος πληθυσμού, τα σπίτια αυτά παρέχουν τα μέσα για τους ηλικιωμένους και τα άτομα με ειδικές ανάγκες να λειτουργούν από μόνα τους και να καλύπτουν τις πιθανές ανάγκες τους χρησιμοποιώντας προηγμένους αισθητήρες και τεχνολογίες παρακολούθησης. Επιπλέον, παρέχουν άνετους ελέγχους στους κατοίκους, αφού πολλές καθημερινές δραστηριότητες μπορούν να παρακολουθούνται και να ελέγχονται από τον υπολογιστή και τον έξυπνο μετρητή.

Οι αυτοματοποιημένοι οικιακοί χώροι αποδίδουν καθήκοντα ρουτίνας, όπως σβήσιμο όλων των φώτων ή αυτόματο κλείδωμα όλων των σημείων εισόδου στο σπίτι. Το πιο σημαντικό είναι ότι τα έξυπνα σπίτια μπορούν να αποφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας και λογαριασμών με την παρακολούθηση και αποτελεσματική διαχείριση της ενεργειακής ζήτησης των σπιτιών. Ένα έξυπνο ενεργειακό σπίτι (SEH) ορίζεται ως ένα σπίτι που χρησιμοποιεί τεχνολογίες οικιακού αυτοματισμού για την παρακολούθηση και τον έλεγχο οικιακών συσκευών ώστε να παρέχει βελτιωμένη άνεση, ευκολία, ασφάλεια και μικρότερο κόστος για τους κατοίκους. [115]

Ορισμένες από τις λειτουργίες ενός σπιτιού που μπορούν να αυτοματοποιηθούν με στόχο να γίνει εύχρηστο, άνετο και γρήγορο αποτελούν τα:

- Σύστημα ασφάλειας
- Σύστημα παρακολούθησης
- Σύστημα φωτισμού / Day-light control
- Σύστημα ηλεκτρικών συσκευών (Κουζίνα, Θερμοσίφωνας, TV, Στερεοφωνικό, VIDEO, κλπ.)
- Σύστημα free cooling, αερισμού, πρόψυξης, προθέρμανσης
- Σύστημα ρολών-τεντών και θυρών
- Σύστημα διανομής δορυφορικού και τηλεοπτικού σήματος
- Σύστημα διανομής εικόνας και ήχου
- Σύστημα κεντρικής διαχείρισης και εποπτείας
- Σύστημα ποτίσματος
- Σύστημα πυρανίχνευσης και πλημμύρας

### Πλεονεκτήματα

- Η ευκολία, η άνεση και η ασφάλεια
- Ο ιδιοκτήτης μπορεί να ελέγχει και να συντονίζει οποιαδήποτε λειτουργία του κτηρίου γρήγορα.
- Εύκολη εγκατάσταση του συστήματος και ελάχιστη συντήρηση
- Μέσος όρος ζωής και άρτιας λειτουργίας : 30 χρόνια
- Αθόρυβη λειτουργία και μηδενική ρύπανση
- Εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους

### Μειονεκτήματα

- Μεγάλος πίνακας ελέγχου με πολλές λειτουργίες
- Χρήση πολλών κωδικών που ίσως να προβληματίσουν τον χρήστη
- Υψηλό κόστος κατασκευής και σχεδίασης

## Συμπεράσματα

---

Το έξυπνο δίκτυο φαντάζει σαν τεχνολογία του μέλλοντος προσφέροντας, εκσυγχρονισμένες λύσεις προκειμένου να ενσωματώσει το πλέον διαμορφωμένο δίκτυο παραγωγής και διαχείρισης ρεύματος με έξυπνες λύσεις επικοινωνίας και αυτοματισμούς.

Ένα τέτοιο δίκτυο θα είναι συμβατό με ποικίλες λύσεις εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες προέρχονται και από την πλευρά του φορέα αλλά και του πελάτη. Μαζί με την έξυπνη διαχείριση της ενέργειας που προσφέρετε με την χρήση έξυπνων μετρητών, θα ωφεληθούν τόσο οι εταιρίες παραγωγής όσο και ο ίδιος ο κόσμος χάρις την μείωση στα ορυκτά καύσιμα το οποία προκαλούν αυξανόμενες ανησυχίες χωρίς να προτείνεται κάποια λύση.

Παρόλο την πολυπλοκότητα που το διαστρέφει το έξυπνο δίκτυο προσφέρετε σαν ένα απλό και εκμεταλλεύσιμο δίκτυο το οποίο προσαρμόζετε ανάλογα με τις ανάγκες και απαιτήσεις του καταναλωτή. Χάρης την ελευθερία που προσφέρει σε εφαρμογές και συσκευές που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο η ανάπτυξη του σε τεχνολογίες όπως EV's, Smart Homes και Smart Cities γίνεται πραγματικότητα φέρνοντας τον πληθυσμό ένα βήμα πιο κοντά με το μέλλον και ανοίγοντας την πόρτα σε εμπορικές επιχειρήσεις για να την αξιοποιήσουν.

Στην πτυχιική μας αναλύσαμε το έξυπνο δίκτυο και όλα τα μέρη που το αποτελούν εστιάζοντας κυρίως στον τομέα των επικοινωνιών και της ασφάλειας τα οποία είναι προαπαιτούμενα για την σωστή λειτουργία του. Παρατηρήσαμε τις δυσκολίες και τα ελαττώματα που συσχετίζονται με το έξυπνο δίκτυο και την εδραίωση του.

Παρόλο που έργα και προγράμματα βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη, κατά την γνώμη μας το έξυπνο δίκτυο δεν είναι ακόμα σε θέση να τεθεί αποτελεσματικό αφότου υπάρχουν κίνδυνοι όπως προβλήματα ασφαλείας, νομοθεσίες, ερευνητικά προγράμματα και ενημέρωση πολιτών που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες επικοινωνίας και αποθήκευσης ενέργειας επίσης πρέπει να αναπτυχθούν για να είναι συμβατές και διαθέσιμες για κατανάλωση δίνοντας πολλαπλές λύσεις και δυνατότητες στην αγορά.

## Βιβλιογραφία

---

- [1] E. T. Center, «The History of Electrification: The Birth of our Power Grid.» 6 November 2013.
- [2] REN21, «RENEWABLES 2016: GLOBAL STATUS REPORT,» Arla Fytrou -Moschopoulou, 2016.
- [3] S. B. S, «Renewable Fuels, Consumer Protection, and Energy Efficiency Act of 2007,» 2007.
- [4] E. Μπούμπουκας, «ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΕΡΕΥΝΑ και ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ,» *ΤΕΥΧΟΣ 37*, p. 36, ΙΟΥΛΙΟΣ 2003.
- [5] U. O. Cyprus, «Εισαγωγή στη Διεσπαρμένη Παραγωγή».
- [6] vinkolop. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.openscience.gr/el/blog/vnikolop/>.
- [7] Wikipedia, «Backbone network,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Backbone\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Backbone_network).
- [8] Z. Y.-q. R. Z. C. B.-r. WANG Hao, «Research of Multi-frequency Hybrid Networking of TD-LTE Power Wireless Broadband System,» *Electric Power Information and Communication Technology*, τόμ. 8, αρ. 11, pp. 24-30, 2013.
- [9] D. G. S. G. I. T. G. S. Perikiis Chatzimisios, «HANDBOOK ON GREEN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS,» *Survey on Smart Grid Communications: From an Architecture Overview to Standardization Activities*, αρ. 26, pp. 28-32.
- [10] Ceragon, «Advanced Wireless Backhaul for the Smart Grid,» *Solution Brief*, p. 12, June 2014.
- [11] K. M. Rossella Mattioli, «Communication network interdependencies in smart grids,» *Methodology for the identification of Critical Communication Networks Links and Components*, p. 54, 2015.
- [12] S. C. Services, «Comments Request for Information on Smart Grid Communications Requirements,» July 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.alvarion.com>.
- [13] Θ. Ζώτου, «Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids),» p. 96, Οκτώβριος 2012.
- [14] P. Hallberg, «Smart grids and networks of the future - eurelectric views,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?DocumentID=26620](http://www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?DocumentID=26620).
- [15] L. T. B. a. K. Iniewski, «Smart Grid Applications Communications, and Security,» 2012.
- [16] Z. L. Wenye Wang, «Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges, In Computer Networks,» τόμ. 57, αρ. 2013, p. 1344, 2013.
- [17] W. C. M. R. Franco Callegati, «Man-in-the-Middle Attack to the HTTPS Protocol,» *IEEE Security & Privacy*, τόμ. 7, αρ. 1, pp. 78-81, 2009.

- [18] «ARP spoofing.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://el.wikipedia.org/wiki/ARP\\_spoofing](https://el.wikipedia.org/wiki/ARP_spoofing).
- [19] K. Stollznow, «Eavesdropping: etymology, meaning, and some creepy little statues.» 7 August 2014.
- [20] X. L. R. L. X. S. X. L. H. Z. X. Li, «Securing smart grid: Cyber attacks, countermeasures, and challenges.» τόμ. 50, αρ. IEEE Commun. Mag, p. 28, 2012.
- [21] S. L. W. L. C. L. P. C. Jing Liu and Yang Xiao, «Cyber Security and Privacy Issues in Smart Grids.» *IEEE communications surveys and tutorials*, τόμ. 14, αρ. 4, p. 981, 2012.
- [22] B. C. N. O. T. William G. Temple, «Delay makes a difference: Smart Grid Resilience Under Remote Meter Disconnect.» *IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, p. 462, 2013.
- [23] Z. A. B. a. A.-R. Amoudi, «An Analysis of Smart Grid.» *Attacks and Countermeasures, Journal of Communications*, τόμ. 8, αρ. 8, p. 473, 2013.
- [24] A. H. M. G. Aditya Ashok, «Cyber-physical security of Wide-Area Monitoring.» *Protection and Control in a Smart Grid environment, Journal of Advanced Research*, τόμ. 15, αρ. 4, p. 481, 2014.
- [25] NIST, «Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards.» *NIST Special Publication 1108 NIST*, αρ. 1, 2010.
- [26] S. D. J. Dolezilek, «Practical Applications of Smart Grid Technologies.» *Schweitzer Engineering Laboratories*, 2009.
- [27] E. P. R. Institute, «Wide Area Monitoring Protection, and Control Systems.» 2012.
- [28] M. S. Y. Yifeng He, «Differentiated service for Smart Grid neighbourhood area networks via optimal resource allocation.» *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, p. 55, 2013.
- [29] S. Y. A. K. Sophia, «Security and smart metering EW.18th European Wireless Conference.» p. 8, 2012.
- [30] C. F. M. P. M. D. C. A. E. Bou-Harb, «Communication Security for Smart Grid Distribution Networks.» *IEEE Communications Magazine*, τόμ. 51, αρ. 1, p. 42, 2013.
- [31] A. P. M. G. R. M. V. L. Castellani, «Interoperable and globally interconnected Smart Grid using IPv6 and 6LoWPAN.» *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, p. 6473, 2012.
- [32] «Cisco and its affiliates: Cisco Connected Grid Security for Field Area.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.cisco.com/web/strategy/docs/energy/C11-696279-00\\_cgs\\_fan\\_white\\_paper.pdf](http://www.cisco.com/web/strategy/docs/energy/C11-696279-00_cgs_fan_white_paper.pdf).
- [33] R. kaushal, «CHALLENGES OF IMPLEMENTING SMART GRIDS IN INDIA.» p. 10, 14 January 2011.
- [34] G. H. V.C. Gungor, «Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches.» *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, τόμ. 56, αρ. 10, pp. 4258-4265, 2009.
- [35] R. K. K. Moslehi, «Smart Grid - a reliability perspective.» *Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1-8, 19-21 January 2010.
- [36] J. A. B. T. G. Q. Yang, «Communication Infrastructures tures for Distributed Control of Power Distribution Networks.» *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, pp. 316-327, May 2011.
- [37] GENELEC, «Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids.» p. 141, 4 May 2011.
- [38] N. Βογιατζής, «Παραδοτέο Ομάδας Εργασίας.» *Τεχνολογίες Πλέγματος (Grid): Προοπτικές και Εφαρμογές στο Η-Επιχειρείν*, 2005.
- [39] «Hellas Grid.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.hellasgrid.gr/>.
- [40] ΔΕΔΔΗΕ, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε.» *ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ*, αρ. 1, p. 28, 2006.
- [41] «Ομάδα Εργασίας για την Ανάπτυξη Καταναμημένων Υπηρεσιών Πλέγματος Υπολογιστικών Συστημάτων.» *Grid στην Κοινωνία της Πληροφορίας (HellasGrid Task Force)*, 17 November 2003.
- [42] «GridLab.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gridlab.org>.
- [43] «EGREE.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://egee-ei.web.cern.ch>.
- [44] «SEE-GRID.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.see-grid.org>.
- [45] D. R. Γ. Κιόλλιας, «ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ & ΝΗΣΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ.» p. 17, 15 May 2014.
- [46] e. press. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energypress.gr/news/erhontai-oi-echyroi-metrites-enimerosi-papageorgiou>.
- [47] Π. Πάτρας, «ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ».
- [48] Α. Κωνσταντίνος, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας.» ΔΕΔΔΗΕ, 2014.
- [49] D. H. C. Bennett, «Networking AMI Smart Meters.» σε *IEEE Energy 2030 Conference*, 2008.
- [50] Z. Fan, «Smart Grid Communications: Overview of Research.» 2011.
- [51] «The History of Making the Grid Smart.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://ethw.org/The\\_History\\_of\\_Making\\_the\\_Grid\\_Smart#The\\_History\\_of\\_Making\\_the\\_Grid\\_Smart](http://ethw.org/The_History_of_Making_the_Grid_Smart#The_History_of_Making_the_Grid_Smart).
- [52] «Sensor Monitoring Device.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.google.com/patents/US3842208>.
- [53] «DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>.
- [54] K. J. L. J. K. J. Y. Jaewoo, «M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies.» *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, τόμ. 16, pp. 61-76, 2014.
- [55] M. O. A. A. A. Hossain, «Evolution of smart grid and some pertinent issues.» *In Proceedings of the 20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, τόμ. 6, pp. 5-8, 2010.
- [56] F. H, «The path of the smart grid. IEEE Power Energy Mag.» pp. 18-28, 2010.
- [57] K. P. M. R. S. Murat, «Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN.» pp. 74-88, 2014.
- [58] S. W. L. D. V. Depuru, «Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status.» *Renew. Sustain. Energy Rev.*, αρ. 15, p. 2736-2742, 2011.
- [59] L. Chun-Hao και N. Ansari, «The progressive Smart Grid System from both power and communications aspects.» *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, αρ. 14, p. 799-821, 2012.
- [60] R. F. A. M. A. R. K. Mohassel, «A survey on advanced metering infrastructure.» *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, τόμ. 63, p. 473, 2014.
- [61] P. V. K. G. Diamantoulakis, «Big data analytics for dynamic energy management in smart grids.» *Big Data Res.*, τόμ. 2, pp. 94-101, 2015.

- [62] «Assessment of Demand Response and Advanced Metering. Federal Energy Regulatory Commission.» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/12-20-12-demand-response.pdf>.
- [63] C. Gao και M. Redfern, «A Review of Voltage Control in Smart Grid and Smart Metering Technologies on Distribution Networks,» *In Proceedings of the Universities' 46th International Power Engineering Conference (UPEC)*, pp. 5-8, 2011.
- [64] U. D. o. Energy, «What the Smart Grid Means to You and the People You Represent.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.smartgridinformation.info/pdf/1212\\_doc\\_1.pdf](http://www.smartgridinformation.info/pdf/1212_doc_1.pdf).
- [65] X. H. W. T. W. S. Z. A. Dong, «Smart Metering system for monitoring electricity of building based on wireless network,» *In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp. 25-27, 2012.
- [66] S. L. W. D. V. Depuru, «A conceptual design using harmonics to reduce pilfering of electricity,» *In Proceedings of the Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis*, pp. 25-29, 2010.
- [67] V. V. a. G. M. R. A. León, «Application of sensor network for secure electric energy infrastructure,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, τόμ. 22, αρ. 2, p. 1021, 2007.
- [68] J. M. B. B. O. Elloumi, Smart Grid- an introduction, TCM2M, 2010.
- [69] F. Cleveland, «Use of wireless data communications in power system operations,» *Power Systems Conference and Exposition*, pp. 631-640, 2006.
- [70] A. U. a. S. H. Shami, «Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 19, αρ. 3, pp. 191-199, 2013.
- [71] H. T. M. a. M. Erol-Kantarci, «smart grid communications: Opportunities and challenges,» *Green Information and Communication Systems*, αρ. 25, pp. 631-663, 2013.
- [72] S. M. Singh, «Broadband Over Power Lines A White Paper,» *State of New Jersey*.
- [73] W. G. a. Y. Xiong, «Remote control system for energy,» *IEEE Energytech*, pp. 1-5, 2013.
- [74] B. Parikh, «What is Serial Peripheral Interface,» 2012.
- [75] D. S. T. K. Vehbi C. Güngör, «Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, τόμ. 7, αρ. 4, pp. 529-539, 2011.
- [76] Zhone, «Choosing the right FTTx Architecture,» *Zhone White Paper*, p. 9, 2008.
- [77] C.-H. K. C. Mohcene Mezhoudi, «Integrating optical transport quality, availability, and cost through reliability-based optical network design,» *Bell Labs Technical Journal*, τόμ. 11, αρ. 3, pp. 91-104, 2006.
- [78] B. Wotruba, «Ethernet Enables the Smart Grid.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.belden.com/docs/upload/Ethernet\\_Smart\\_Grid](http://www.belden.com/docs/upload/Ethernet_Smart_Grid).
- [79] B. Kushnick, «What Are the Public Switched Telephone Networks, 'PSTN' and Why You Should Care?,» *Huffington Post Blog*, April 2014.
- [80] Wikipedia, «Wavelength-division multiplexing,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division\\_multiplexing](https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing).
- [81] M. S. a. A. Shlahi, «A survey on information and communication technology (ICT) applications in distribution systems,» *21st International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, 2011.
- [82] C. W. a. D. K. H. Knauss, «An innovative approach to smart automation testing at national grid,» *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, pp. 1-8, 2012.
- [83] A. S. a. P. G. C. I. Tsiropoulos, «Wireless-broadband over power lines networks: A promising broadband solution in rural areas,» *PowerTech*, pp. 1-6, 2009.
- [84] G. Emmanuel, «How to address the communications challenges of Smart Meters,» 26 January 2016.
- [85] Z. Alliance, «The ZigBee Specification Overview,» ZigBee Alliance, 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.zigbee.org>.
- [86] DIGI, «ZIGBEE WIRELESS STANDARD,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/rfmodems/zigbee-wireless-standard>.
- [87] C. C. S. C. Lee JS, « Applications of short-range wireless technologies to industrial automation: a ZigBee approach,» *Proceedings of the fifth advanced international conference on telecommunications*, pp. 15-20, 2009.
- [88] L. W. L. K. T. H. X. K. Tsang KF, «An integrated ZigBee automation system: an energy saving solution,» *Proceedings of the 14th international conference on mechatronics and machine vision in practice*, pp. 252-258, 2007.
- [89] T. Agarwal, «ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>.
- [90] A. C. B. V. V. P. Chatzimisios, «Performance analysis of the IEEE 802.11 MAC protocol for Wireless LANs,» *Wiley International Journal of Communication Systems*, τόμ. 18, αρ. 6, pp. 545-569, 2005.
- [91] L. H. Mao R, «An efficient multiple access scheme for voltage control in smart grid using WiMAX,» *IEEE proceedings on international conference on communications*, pp. 3367-3371, 2012.
- [92] W.-F. Alliance, «Wi-Fi Alliance. Wi-Fi for the smart grid: mature interoperable, security protected technology for advanced utility management communication,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wi-fi.org>.
- [93] K. M. S. T. Parikh PP, « Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications,» *IEEE proceedings on 2010 IEEE power and energy society general meeting*, pp. 1-7, 2010.
- [94] A. G. a. R. Ratasuk, «Essentials of LTE and LTE-A,» *Cambridge University Press*, July 2011.
- [95] D. AC, «An overview of Bluetooth wireless technology TM and some competing LAN standards,» *IEEE proceedings of 1st IEEE international conference on circuits and systems for communications*, pp. 206-211, 2002.
- [96] P. J. S. B. Gehrman C, «Bluetooth security,» *Artech House Inc*, 2004.
- [97] D. S. C. T. Y. D. V. T. R. U. Raza S, «Securing communication in 6LoWPAN with compressed IPsec,» *IEEE proceedings of international conference on distributed computing in sensor systems and workshops*, pp. 1-8, 2011.
- [98] C. B. G. M. Ted Lemon, «IPv6 over Low power WPAN,» *Charter for Working Group*, p. <https://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>, 2012.
- [99] S. Y. S. C. Lee JS, «A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi,» *IEEE proceedings on 33rd annual conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, pp. 46-51, 2007.

- [100] J. P. Carles G, «Wireless home automation networks: a survey of architectures and technologies.» *IEEE Commun Mag*, αρ. 48, pp. 92-101, 2010.
- [101] D. J. LEEDS, «THE SMART GRID IN 2010: MARKET SEGMENTS, APPLICATIONS AND INDUSTRY PLAYERS.» *GTM RESEARCH*, p. 145, July 2009.
- [102] T. L.-N. L. B. Le, «QoS provisioning for OFDMA-based wireless network.» *IEEE Electrical and Computer Engineering 2011*, pp. 813-816, 2011.
- [103] P. A. Hoffman, «Smart Grid System Report.» US Department Of Energy, Washington, 2014.
- [104] S. M. P. McDaniel, «Security and privacy challenges in the smart grid.» σε *IEEE Security and Privacy*, 2009.
- [105] M. A. J. N. R. S. K. R. I. M. Khan I, «Home energy management systems in future smart grids.» *Basic Appl Sci Res*, τόμ. 3, αρ. 3, pp. 1224-1231, 2013.
- [106] K. I. U. M. M. A. F. M. Javaid N, « A survey of home energy management systems in future smart grid communications.» *IEEE proceedings on eighth international conference on broadband and wireless computing, communication and applications*, pp. 459-464, 2013.
- [107] Q. Y. S. H. T. D. Yan Y, «A survey on smart grid communication infrastructures: motivations, requirements and challenges.» *IEEE Commun Surv Tutor 2013*, τόμ. 15, αρ. 15, pp. 5-20, 2013.
- [108] M. M. M. M. Bouhafs F, «Links to the future: communication requirements and challenges in the smart grid.» *IEEE Power Energy Mag 2012*, τόμ. 10, αρ. 10, pp. 24-32, 2012.
- [109] Q. M. W. H. Su H, «Secure wireless communication system for smart grid with rechargeable electric vehicles.» *IEEE Commun Mag*, αρ. 50, pp. 62-68, 2012.
- [110] J. L. a. J. Lowry, *Electric vehicle technology explained 2nd ed.*, England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [111] K. P. Yilmaz M, «Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles.» *IEEE TransPower Electron*, τόμ. 28, αρ. 5, pp. 2151-2169, 2013.
- [112] B. T. Chaundhry H, «A V2G application using fast charging and its impact on the grid.» *IEEE Transportation electrification conference and expo (ITEC)*, 2012.
- [113] I. B. Muttoni, «EV-smart grid integration.» *INNOVATION OUTLOOK – TRANSPORT SERIES*, p. 26, January 2015.
- [114] P. C. Kamel Ben Naceur. Jean-François Gagné, «Global EV Outlook 2016.» International Energy Agency, Paris, 2016.
- [115] A.-B. B., «SMART Energy Homes and the Smart Grid.» *A Framework for Intelligent Energy Management Systems for Residential Customers*, p. 191, 1 1 2014.