



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Μελέτη Αμφίδρομης Επικοινωνίας Μεταξύ Παρόχων
και Καταναλωτών στα Πλαίσια του Έξυπνου
Ενεργειακού Δικτύου**

(Study of the Bidirectional Communication Between Providers and Consumers in the
Context of the Smart Energy Grid)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γεώργιου Καραδήσογλου

Επιβλέπων:

Επίκουρος Καθηγητής Σκούτας Δημήτριος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Καθηγητής Σκιάνης Χαράλαμπος

Καθηγητής Βουγιούκας Δημοσθένης

Σάμος, Μάρτιος 2021

Δήλωση πρωτοτυπίας διπλωματικής εργασίας

Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και δηλώνω ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη προπτυχιακή διπλωματική εργασία.

- Καραδήσογλου Γεώργιος

Περίληψη:

Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η περιγραφή του θεωρητικού πλαισίου των έξυπνων ενεργειακών δικτύων, όπως επίσης και η καταγραφή των βασικών αρχών που είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα.

Αρχικά γίνεται αναφορά στην σημαντικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έπειτα παρατίθενται οι στόχοι και η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Στην συνέχεια, συναντάται η έννοια των Διαδικτύου των Πραγμάτων και των διάφορων αλληλεπιδράσεων που πραγματοποιούνται στα πλαίσια αυτού. Γίνεται αναφορά στους αισθητήρες και τα αντίστοιχα δίκτυα τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και κατά συνέπεια και για το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο.

Ακόλουθα, παρουσιάζεται η σημαντικότητα του ρόλου της επικοινωνίας αλλά και οι προδιαγραφές της στα πλαίσια ενός έξυπνου δικτύου μέσα από την αναφορά στις διάφορες και διαφορετικού τύπου τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Εξετάζεται η λειτουργία των έξυπνων συσκευών όπως επίσης και όλων των οντοτήτων που απαρτίζουν και χαρακτηρίζουν ως πλήρες και οργανωμένο ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αρχικά η θέση και ο ρόλος των καταναλωτών στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο και εν συνεχεία παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των έξυπνων ενεργειακών δικτύων από την πλευρά των καταναλωτών. Επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση των βασικών προβλημάτων ασφαλείας ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου καθώς επίσης των αδυναμιών του αλλά και των υφιστάμενων απειλών.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με αναφορά στο μέλλον των έξυπνων δικτύων και στα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακό Δίκτυο, Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο, Διαδίκτυο των Πράγματος, Διαδίκτυο της Ενέργειας

© 2021

του

ΚΑΡΑΔΗΣΟΓΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Abstract:

The purpose of this dissertation is to describe the theoretical framework of Smart Energy Networks, as well as to record the basic principles that are directly linked to them.

First, the focus is drawn on the importance of renewable energy sources as well as on the objectives and architecture of an intelligent energy network. The study continues with an analysis of the 'Internet of Things' concept and the various interactions that take place within it. The role of sensor networks for the Internet of Things and consequently for the Smart Energy Grid, is also pointed out.

Moreover, the role of communication and its specifications in a Smart Network is presented while reference is made to the different types of related telecommunication technologies. The everyday areas of use of smart devices as well as all entities that make up a smart energy network are analyzed in detail.

The next chapter presents the role of consumers in the Smart Grid and lists the advantages and disadvantages of Smart Energy Networks. The dissertation finishes with an analysis of a Smart Network's critical security issues, weaknesses and existing threats.

The dissertation concludes with a discussion on Smart Networks' future as well as the conclusions that emerged from this work.

Keywords: Power Grid, Smart Grid, Internet of Things, Energy Internet

© 2021

KARADISOGLOY GEORGIOS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

Ευχαριστίες:

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού μου προγράμματος στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία, με την παρούσα παράγραφο οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κο Σκούτα για την πολύτιμη υποστήριξη και διαθεσιμότητα του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, παρέχοντας μου μεταξύ άλλων, ιδιαίτερα σημαντικές συμβουλές και διευκρινήσεις όποτε έκρινε απαραίτητο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Ιωάννη και Σοφία, τις αδερφές μου Έλενα και Αποστολία, καθώς και όλους μου τους φίλους που με κουράγιο, πίστη και υπομονή μου προσέφεραν την αναγκαία ηθική και ψυχολογική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Κατάλογος Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στο Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο – Smart Energy Grid.12

1.1 Το Ενεργειακό Δίκτυο	12
1.1.1 Παραδοσιακά δίκτυα ενέργειας και ενεργειακή-περιβαλλοντική διαχείριση 13	
1.1.2 Ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ζητήματα στα παραδοσιακά ενεργειακά δίκτυα.....	14
1.2 Το Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο	15
1.3 Αρχιτεκτονική ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου	18

Κεφάλαιο 2 – Το διαδίκτυο των πραγμάτων..... 21

2.1 Ενεργειακό Διαδίκτυο.....	21
2.2 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	22
2.3 Αισθητήρες	24
2.3.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	26
2.3.2 Εφαρμογές ασύρματων αισθητήρων στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο	27

Κεφάλαιο 3 – Τεχνολογίες επικοινωνιών στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα 32

3.1 Ο ρόλος της επικοινωνίας στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα	34
3.2 Προδιαγραφές επικοινωνίας σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο	35
3.3 Ασύρματες τεχνολογίες	36
3.3.1 Ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας.....	36
3.3.1.1 Bluetooth	36
3.3.1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	36
3.3.1.3 ZigBee	37
3.3.1.4 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID).....	37
3.3.2 Ασύρματες τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας.....	39
3.3.2.1 WiMAX.....	39
3.3.2.2 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος	39
3.3.2.3 Κυψελωτές επικοινωνίες (Cellular Network).....	40
3.3.2.4 Δορυφορικές επικοινωνίες	40
3.3.2.5 Ψηφιακές μικροκυματικές επικοινωνίες	41
3.4 Ενσύρματες τεχνολογίες	41
3.4.1 Οπτικές ίνες.....	41
3.4.2 Επικοινωνία μέσω ενεργειακού δικτύου	41

3.4.3 Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή	42
Κεφάλαιο 4 – Έξυπνα και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια και αστικές δομές ...	43
4.1 Βασικές έννοιες – Γενικά Χαρακτηριστικά.....	43
4.2 Έξυπνες συσκευές.....	45
4.3 Έξυπνο ενεργειακό σπίτι	50
4.4 Έξυπνα μηδενικής ενέργειας κτίρια	51
4.4.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας – ενεργειακή διαχείριση	53
4.5 Έξυπνες ενεργειακές πόλεις.....	54
4.6 Έξυπνες μηδενικής ενέργειας κοινωνίες	55
Κεφάλαιο 5 – Καταναλωτές και έξυπνα ενεργειακά δίκτυα	57
5.1 Ο ρόλος και η συμπεριφορά των καταναλωτών	57
5.2 Πλεονεκτήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου από πλευράς καταναλωτών.....	58
5.3 Μειονεκτήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου από πλευράς καταναλωτών.....	60
Κεφάλαιο 6 - Θέματα ασφαλείας σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο.....	62
6.1 Στοιχεία του δικτύου.....	62
6.2 Στοιχεία του Συστήματος.....	63
6.3 Αδυναμίες και Απειλές του Δικτύου	64
6.4 Αντικειμενικοί στόχοι ασφάλειας σε ένα δίκτυο	65
Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία	69

Κατάλογος Εικόνων:

Εικόνα 1: Τα βασικά συστατικά στοιχεία του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, Πηγή:[10]	16
Εικόνα 2: Ένα πολυεπίπεδο μοντέλο της αρχιτεκτονικής ενός έξυπνου δικτύου, Πηγή:[13].....	19
Εικόνα 3: Έξυπνοι μετρητές ενός δικτύου, Πηγή:[22].....	25
Εικόνα 4: Μοντέλο αναφοράς NIST για ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, Πηγή:[25]	28
Εικόνα 5: Πλαίσιο ενός έξυπνου δικτύου, Πηγή:[26]	29
Εικόνα 6: Έξυπνο δίκτυο (Παραγωγή, Μεταφορά, Χρήση), Πηγή:[14].....	32
Εικόνα 7: Εφαρμογή της τεχνολογίας RFID μέσω δικτύου ενέργειας, Πηγή:[19]	38
Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, Πηγή:[50]	62
Εικόνα 9: Πλαίσιο αναγνώρισης απειλών και προκλήσεων σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, Πηγή:[58]	66

Συντομογραφίες:

Advanced Meter Reading	AMR
Automatic Generation Control	AGC
Building Area Network	BAN
Customer Information Systems	CIS
Demand Response Management Systems	DRMS
Department Of Energy	DOE
Distribution Grid	DA
Electric Utility Center	EUC
Electricity Generation and Distribution	EGD
Electronic Management Systems	EMS
Geographic Information Systems	GIS
Home Area Network	HAN
Industrial Area Network	IAN
Institute of Electrical and Electronics Engineers	IEEE
Internet of Things	IoT
Internet Protocol	IP
Load Management Systems	LMS
Local Area Network	LAN
Meter Data Management Systems	MDMS
National Institute of Standards and Technology	NIST
Neighbor Area Network	NAN
Outage Management Systems	OMS
Power Grid	PG

Quality of Service	QoS
Radio Frequency Identification	RFID
Remote Terminal Units	RTU
Smart Grid	SG
Smart Grid Notes	SGN
Supervisory Control and Data Acquisition System	SCADA
Ultra-High Frequency	UHF
Wide Area Network	WAN
Wireless Automatic Meter Reading	WAMR
Wireless Local Area Network	WLAN
Zero Energy Buildings	ZEBs
Διαδίκτυο των Πραγμάτων	ΔτΠ
Τεχνολογίες Πληροφοριών & Επικοινωνιών	ΤΠΕ

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στο Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο – Smart Energy Grid.

1.1 Το Ενεργειακό Δίκτυο

Τα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στην πλειοψηφία τους συνεχίζουν να λειτουργούν με απαρχαιωμένες τεχνολογίες και συστήματα. Η παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας (Electricity Generation and Distribution - EGD) σε αυτά τα ενεργειακά δίκτυα (Power Grid - PG) μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαφορετικές υποκατηγορίες και υποσυστήματα, δηλαδή στην παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή.

Τα ενεργειακά αυτά δίκτυα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και για να την μεταφέρουν σε μεγάλες αποστάσεις ειδικοί μετασχηματιστές την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης σε υποσταθμούς μετάδοσης. Στη συνέχεια, ένα ηλεκτρικό ρεύμα μέσης τάσης δημιουργείται με τη μετατροπή αυτού του ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσης στα κέντρα διανομής. Τέλος, η μέση αυτή τάση μετατρέπεται σε χαμηλή τάση προκειμένου να είναι δυνατή η χρήση της από τους τελικούς πελάτες. Για αρκετά χρόνια, αυτός ο τρόπος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας παρέμενε αμετάβλητος στα ενεργειακά δίκτυα. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια τα υποσυστήματα των ενεργειακών δικτύων εξελίσσονται με αρκετά γρήγορους ρυθμούς [1] ενώ το επίπεδο αυτοματοποίησης ποικίλλει σημαντικά ανάμεσα στα διαφορετικά υποσυστήματα.

Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EGDs) από ένα σύνολο απομονωμένων ενεργειακών δικτύων έχουν μετατραπεί σε διασυνδεδεμένα δίκτυα. Αυτά τα ενεργειακά δίκτυα ενοποιούνται σε περιφερειακά ή εθνικά ενεργειακά δίκτυα που διαχειρίζονται την ανισόρροπη προσφορά και ζήτηση χρησιμοποιώντας διαφορετικές διπλές γραμμές μεταφοράς για την ροή της ισχύος. Η διαχείριση αυτή όμως είναι δύσκολη και συχνά υπάρχουν αποτυχίες οι οποίες προκύπτουν από βλάβες στις γραμμές ή στα μηχανήματα των εγκαταστάσεων παραγωγής [2].

Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται προέρχεται από διάφορες περιοχές και η διαχείρισή της πραγματοποιείται κεντρικά μέσω ενός κέντρου ελέγχου. Το κέντρο αυτό χρησιμοποιεί ένα σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης για την συλλογή δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA). Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν διαφορετικά επίπεδα αυτοματοποίησης και πρώτο-χρησιμοποιήθηκαν γύρω στο 1965 με αποτέλεσμα την εξέλιξη των κέντρων ελέγχου σε Ηλεκτρονικά Συστήματα Διαχείρισης (Electronic Management Systems - EMS) για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων του ενεργειακού δικτύου. Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες (Remote Terminal Units - RTU) αναπτύσσονται στα ενεργειακά δίκτυα και συλλέγουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με ελάχιστη καθυστέρηση (2-10 δείγματα / δευτερόλεπτο) στο κάθε υποσταθμό μεταφοράς και

διανομής. Τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης (EMSs) χρησιμοποιούν αυτά τα Αυτόματα Συστήματα Ελέγχου (Automatic Generation Control - AGC) για να πετύχουν την βέλτιστη ροή ισχύος, αλλά και την ανάλυση και εκτίμηση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης [3].

Έτσι, τα ενεργειακά δίκτυα που υπάρχουν είναι σε μεγάλο ποσοστό αρκετά «έξυπνα» στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μετάδοση της. Ωστόσο, απαιτείται εκτεταμένη ανθρώπινη παρέμβαση λόγω έλλειψης μεγάλης κλίμακας αυτοματοποίησης των κέντρων ελέγχου. Μετά τα τέλη 1990, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή συστημάτων και τεχνολογιών παρακολούθησης και ελέγχου της χρήσης και της κατανάλωσης της ισχύος των καταναλωτών σε πραγματικό χρόνο.

Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκαν και εισάχθηκαν καινοτόμες εφαρμογές και συστήματα, όπως αυτά της διανομής (Distribution Grid - DA), τα εξειδικευμένα συστήματα μέτρησης (Advanced Meter Reading - AMR) και το εξειδικευμένο υλικό μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure - AMI). Ωστόσο, η χρήση αυτών των εφαρμογών δεν είναι ευρέως διαδεδομένη στα υπάρχοντα ενεργειακά δίκτυα, δεδομένου ότι οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν σε επίπεδα γειτνίασης και τοπικής εμβέλειας και μόνο ως πειραματικά έργα. Έτσι, αυτή η εξέλιξη των ενεργειακών δικτύων μέχρι σήμερα εμφανίζεται και χρησιμοποιείται σε τοπικά επίπεδα επικοινωνίας με σκοπό την αποτελεσματική αντιμετώπιση πολλών κρίσιμων ζητημάτων [2].

1.1.1 Παραδοσιακά δίκτυα ενέργειας και ενεργειακή-περιβαλλοντική διαχείριση

Οι λειτουργίες των υφιστάμενων ενεργειακών δικτύων είναι περιορισμένες και μη αποτελεσματικές. Κατά την λειτουργία τους συναντάμε αφενός μονόδρομη σχέση μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης και αφετέρου έλλειψη αποδοτικής αποθήκευσης της ενέργειας ή χρησιμοποίησης εναλλακτικών πηγών. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι το γεγονός ότι η προσφορά πρέπει να συμβαδίζει με την ζήτηση, που σημαίνει την μη ορθολογική διαχείριση της ενέργειας [4].

Έτσι, η κατάλληλη αποθήκευση ενέργειας (προηγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης) είναι απαραίτητη και ιδιαίτερης σημασίας για τα ενεργειακά δίκτυα. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, οι διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας φέρνουν στα όρια τους τα παλαιάς υποδομής υφιστάμενα ενεργειακά δίκτυα. Προκαλούνται διακοπές ρεύματος, ή προβλήματα ποιότητας, διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας, γεγονός που αποτελεί θέμα ανησυχίας. Για να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση, μονάδες που βασίζονται σε συμβατικά καύσιμα πρέπει να ενεργοποιηθούν για επιπλέον παροχή ηλεκτρικού ρεύματος [2].

Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είναι αναποτελεσματική και καθόλου οικονομική όταν η μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικά μικρότερη από την μέγιστη. Επίσης, σε βάθος χρόνου μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολο ή ακόμη και ακατόρθωτο να

συμπίψει η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος με αυτή των ωρών αιχμής. Η οποιαδήποτε αποτυχία ελέγχου μπορεί να αποβεί καταστροφική με απειλή την κατάρρευση ολόκληρου του ενεργειακού δικτύου.

Επιπλέον, τα υπάρχοντα ενεργειακά δίκτυα, τα οποία δεν βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λόγω έλλειψης πόρων δημιουργούν σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Ακόμη, τα ενεργειακά δίκτυα που κάνουν χρήση ορυκτών καυσίμων με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και λοιπών ρύπων, που είναι εξαιρετικά επιβλαβείς τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το ίδιο το περιβάλλον (οικολογικό αποτύπωμα).

Τα τελευταία χρόνια, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο την ανάγκη χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών και υποδομών για την διαχείριση των δεδομένων του ενεργειακού δικτύου, με σκοπό να μετατοπίσουν την εξάρτησή τους σε συστήματα που βασίζονται στη «γνώση» και όχι στην εμπειρία του εργατικού δυναμικού. Επίσης, οι ήδη υπάρχοντες σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιούν βαριά ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, ο ενεργειακός τομέας είναι ξεκάθαρα μια από τις σημαντικότερες αιτίες κατανάλωσης σε μεγάλο βαθμό φυσικών αποθεμάτων ορυκτών πόρων και εκπομπής επιβλαβών αερίων [2].

1.1.2 Ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ζητήματα στα παραδοσιακά ενεργειακά δίκτυα

Τα προβλήματα που έχουν αναφερθεί και τα θέματα εναλλακτικών ενεργειακών λύσεων προσέλκυσαν την παγκόσμια προσοχή στην αναζήτηση εναλλακτικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές είναι περιβαλλοντικά φιλικές και ικανές να χρησιμοποιηθούν μακροπρόθεσμα στην ανάπτυξη και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής ποιότητας [5].

Η «πράσινη» ενέργεια περιλαμβάνει την υδροηλεκτρική, γεωθερμική, ηλιακή, αιολική, παλιρροιακή ενέργεια καθώς και την ενέργεια από βιομάζα. Η αξιόπιστη και αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους στα ενεργειακά δίκτυα και στην διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εξαλείψει ή να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα, προκειμένου να επιβραδυνθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Πολύ συχνά και στα περισσότερα μέρη παγκοσμίως, παρατηρείται ότι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι ήδη διαθέσιμες και χρησιμοποιούνται ακόμα και σε οικιακή μορφή, αλλά δυστυχώς η παρουσία και η συμβολή τους στα ενεργειακά δίκτυα είναι αρκετά χαμηλή [5]. Για παράδειγμα, τα ενεργειακά δίκτυα που λειτουργούν με την χρήση της ηλιακής ενέργειας εμφανίζονται να είναι επιρρεπή στις διακυμάνσεις συγκομιδής ενέργειας λόγω της αλλαγής στις καιρικές συνθήκες εποχιακά. Κατά συνέπεια, τα ενεργειακά δίκτυα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τεράστιες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία απαιτεί επιπλέον κυκλώματα επαναφόρτισης που είναι

συνήθως δαπανηρά και αυξάνουν σημαντικά το κόστος παραγωγής. Όσον αφορά τα ηλιακά πάνελ αλλά και τις ανεμογεννήτριες καθώς και τα αιολικά πάρκα, η θέση και ο προσανατολισμός τους επηρεάζουν έντονα την πρόσληψη ενέργειας και οδηγούν σε διαφορετικούς ρυθμούς συγκομιδής ενέργειας. Ακόμη, οι ακραίες και δυσμενείς καιρικές συνθήκες θα μπορούσαν επίσης να φανούν ιδιαίτερα ζημιογόνες στα πτερύγια του στροβίλου μιας ανεμογεννήτριας ή της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών.

Ωστόσο, η πρόγνωση, ο έλεγχος και η έγκαιρη ανίχνευση τέτοιων φαινομένων θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ενσωμάτωση διακοπτόμενων ενεργειακών πόρων στα ενεργειακά δίκτυα. Για παράδειγμα, αισθητήρες ελέγχου, παρακολούθησης, συλλογής και αποθήκευσης καιρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορούν να βοηθήσουν τους διαχειριστές στην έγκαιρη εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων ελέγχου για το χειρισμό επικινδύνων καταστάσεων [6].

Όλα τα παραπάνω καθώς και οι προκλήσεις που παρουσιάζονται στα υπάρχοντα ενεργειακά δίκτυα, αποτελούν την κινητήρια δύναμη στο να οδηγηθούμε σε μία νέα μορφή ενεργειακών δικτύων. Τα νέα αυτά δίκτυα θα είναι αυτοματοποιημένα και «έξυπνα». Οδηγούμαστε δηλαδή στα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και στην λεγόμενη «Smart Grid» βιομηχανία και εποχή.

1.2 Το Έξυπνο Ενεργειακό Δίκτυο

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο (Smart Grid - SG) είναι ο πιο πρόσφατος όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των υποδομών επικοινωνιών και ελέγχου που ενσωματώνονται στο συμβατικό ενεργειακό δίκτυο στον 21ο αιώνα. Αν και υπάρχει μία πληθώρα από πολλές ονομασίες όπως Intelli-Grid, Intelligent Grid, Inter-Grid, το έξυπνο δίκτυο είναι μία ορολογία που είναι ευρέως αποδεκτή.

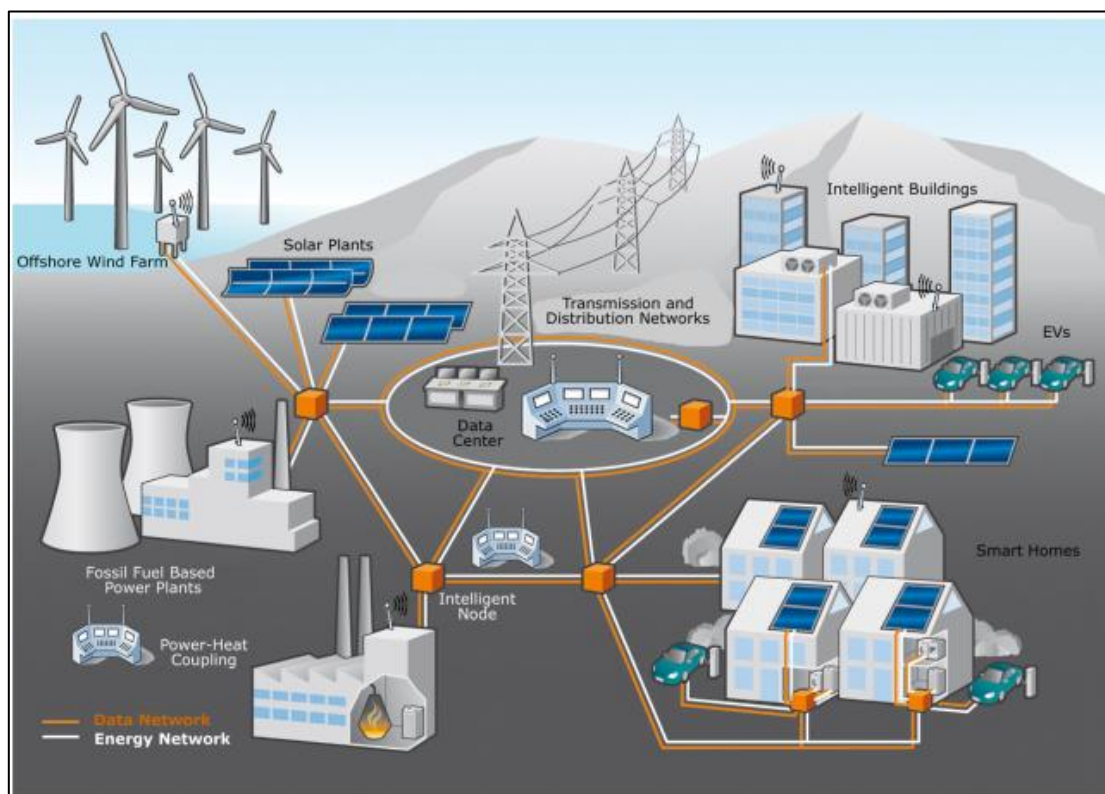
Ένα «έξυπνο δίκτυο» είναι ένα προηγμένο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο έχει την δυνατότητα να εξισορροπεί τα ηλεκτρικά φορτία από διαφορετικές και διαλείπουσες εναλλακτικές πηγές παραγωγής ενέργειας. Το πιο βασικό ίσως στοιχείο-ιδιότητα του «έξυπνου δικτύου» είναι η ικανότητα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, που του επιτρέπει την ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών σε πραγματικό χρόνο [8].

Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα μπορούν να ενσωματώσουν «έξυπνα» την ενέργεια που παράγεται από τους συνδεδεμένους χρήστες για την αποτελεσματικότερη παροχή βιώσιμης, οικονομικής και ασφαλούς ηλεκτρικής ενέργειας. Τα έξυπνα αυτά δίκτυα έβρα από μια συλλογή έξυπνων μετρητών, αιολικών και ηλιακών πηγών ενέργειας, ή ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ακόμα και μια αλληλουχία τεχνολογιών και συστημάτων που επιτρέπουν στους διάφορους φορείς, τους καταναλωτές και τις αρμόδιες εταιρείες παροχής ενέργειας να εντάξουν, να διασυνδέσουν και να ελέγξουν με έξυπνο τρόπο όλες αυτές τις καινοτομίες. Έτσι τα εν λόγω δίκτυα, αναμένεται να επιτρέπουν και να βασίζονται στις αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών, επιτρέποντας

την αποτελεσματική λειτουργία παρακολούθησης, ελέγχου και διαχείρισης συμβάντων καθ' όλο το εύρος του δικτύου συμπεριλαμβανομένων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, των προτιμήσεων και επιλογών των καταναλωτών αλλά και μεμονωμένες συσκευές ή εξοπλισμό.

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο μπορεί να:

1. Είναι ευπροσάρμοστο και μπορεί να ανταποκρίνεται γρήγορα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες.
2. Ελέγχει και να παρακολουθεί τις διαδικασίες συντήρησης του εξοπλισμού, ακόμη και την αναγνώριση πιθανών διακοπών πριν από την εμφάνισή τους.
3. Ενσωματώνει, τις λειτουργίες επικοινωνίας και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο.
4. Είναι διαδραστικό μεταξύ καταναλωτών και παρόχων.
5. Είναι βελτιστοποιημένο, ως προς την μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας, της αποδοτικότητας και της οικονομικής απόδοσης
6. Παρέχει ασφάλεια, από τις ανθρώπινου παράγοντα κακόβουλες επιθέσεις και τις φυσικές καταστροφές [9].



Εικόνα 1: Τα βασικά συστατικά στοιχεία του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, Πηγή:[10]

Μία από τις βασικότερες διαφορές μεταξύ των έξυπνων ενεργειακών δικτύων του μέλλοντος και των ηλεκτρικών δικτύων του παρόντος σχετίζεται με την διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ του ποσού της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα θεωρούνται σήμερα ως ένα από τα πιο βασικά εργαλεία για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας της ενέργειας. Επιτρέπουν και ορίζουν μια συντονισμένη προσέγγιση βάσει της οποίας η παραγωγή και η ζήτηση ενέργειας είναι αλληλεξαρτώμενες έτσι ώστε να διασφαλιστεί η βελτιστοποιημένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται τόσο η χρήση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα όσο και η επένδυση σε νέες υποδομές δικτύου.

Η κύρια συνεισφορά του ενεργειακού δικτύου στα συμβατικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι παρέχει αμφίδρομη ροή ενέργειας και επικοινωνίας. Η επικοινωνιακή του δομή του δίνει την δυνατότητα να «αντιδράσει» στις διάφορες μεταβολές που συμβαίνουν σε οποιοδήποτε μέρος της παραγωγής, της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ικανότητα του βασίζεται στα δίκτυα αισθητήρων που επιτρέπουν την παρακολούθηση ολοκλήρου του δικτύου. Σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, οι αισθητήρες ελέγχου παρακολουθούν άμεσα με κάθε μονάδα παραγωγής ή μετατροπής ενέργειας, όπως οι μετασχηματιστές και οι γεννήτριες. Έτσι μέσω των μηχανισμών παρακολούθησης παρέχεται η δυνατότητα της ανίχνευσης προβλημάτων και του ελέγχου της διαδικασίας μεταφοράς και διανομής ενέργειας με σκοπό την σωστή διαχείριση της ροής σε εκτεταμένες περιοχές [7].

Επιπλέον, η έννοια του έξυπνου ενεργειακού δικτύου στοχεύει να αναβαθμίσει το υπάρχον συμβατικό ενεργειακό δίκτυο προς την κατεύθυνση της κατακεντρωμένης παραγωγής (Distributed Generation) από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως οι ανεμογεννήτριες ή τα φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία παράγουν ενέργεια κοντά στον τελικό χρήστη. Από τα συμβατικά και μη ανανεώσιμα καύσιμα, που συμβάλουν στο φαινόμενο των αερίων του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής, προέρχεται πάνω από το 80% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας [11].

Οι στόχοι των έξυπνων ενεργειακών δικτύων και το κύριο όραμα τους συνοψίζονται παρακάτω:

1. Παροχή μιας συγκεκριμένης προσέγγισης με βασικό γνώμονα τον χρήστη και εισροή νέων υπηρεσιών στην αγορά.
2. Καθιέρωση της καινοτομίας ως έναν βασικό παράγοντα για την ανανέωση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Διατήρηση και εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών της αμφίδρομης σχέσης παραγωγής - κατανάλωσης αλλά και της ολοκληρωμένης λειτουργικότητας του ενεργειακού δικτύου.

4. Διασφάλιση της πρόσβασης σε μια πιο απελευθερωμένη αγορά που αποσκοπεί στην ενθάρρυνση του ανταγωνισμού.
5. Ενεργοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής και της σωστής χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
6. Εξασφάλιση της ορθότερης χρήσης της παραγωγής ενέργειας.
7. Έγκυρη και κατάλληλη έρευνα των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
8. Ενεργοποίηση της συμμετοχικής ζήτησης.
9. Ενημέρωση των πολιτικών και κανονιστικών φορέων.
10. Ανάλυση και μελέτη κοινωνικών πτυχών και αναγκών.

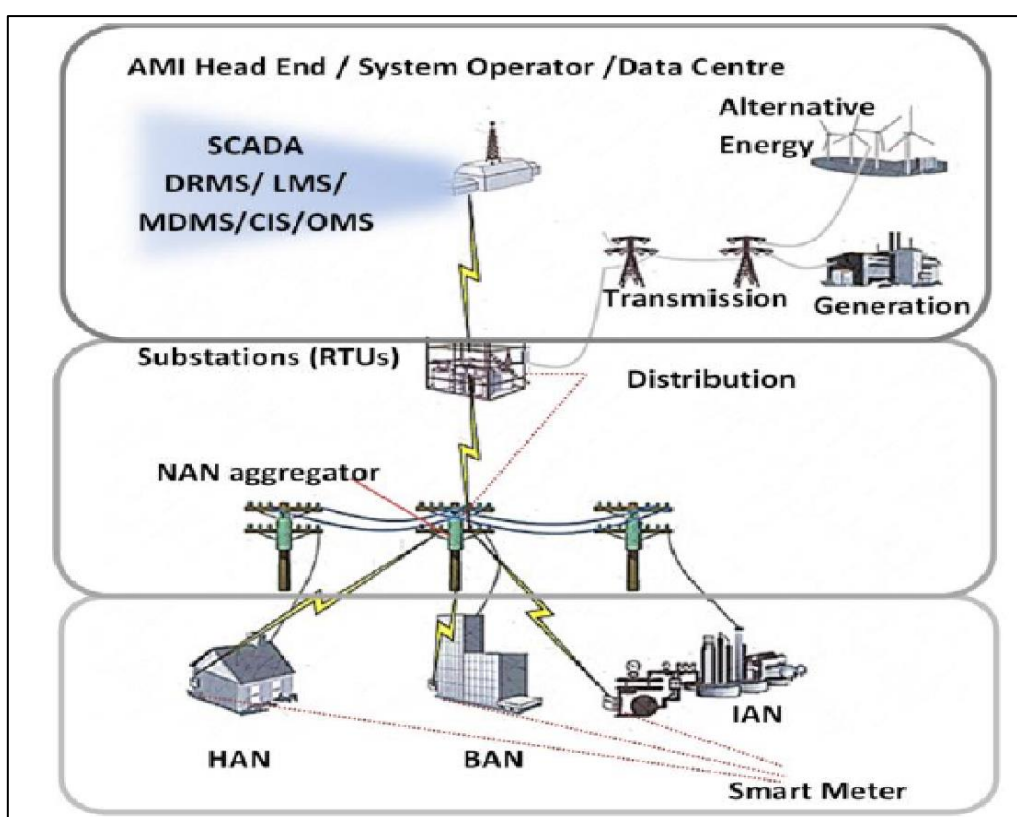
Εν ολίγοις, η ψηφιακή αυτή τεχνολογία που επιτρέπει και διασφαλίζει την αμφίδρομη επικοινωνία του ενεργειακού δικτύου με τους καταναλωτές του και την παρακολούθηση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο καθ' όλο το μήκος των γραμμών μεταφοράς και διανομής είναι εκείνο το στοιχείο που χαρακτηρίζει το δίκτυο ως «έξυπνο». Όπως το διαδίκτυο, έτσι και το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο προκύπτει από τον συνδυασμό αισθητήρων, υπολογιστών, συστημάτων και αυτοματισμών, τεχνολογιών και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Η διαφορά τους είναι ότι στην περίπτωση του ενεργειακού δικτύου οι τεχνολογίες λειτουργούν μέσα σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο και στοχεύουν στην άμεση ανταπόκριση στην ταχύτατα μεταβαλλόμενη ηλεκτρική ζήτηση.

1.3 Αρχιτεκτονική ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου

Μέχρι και σήμερα, διαφορετικές έννοιες και όροι περιγραφής της αρχιτεκτονικής των έξυπνων δικτύων έχουν προταθεί και από βιομηχανικής πλευράς αλλά και από ακαδημαϊκής, με το πιο ευρέως καθιερωμένο μοντέλο να είναι το εκείνο που πρότεινε το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας της Αμερικής (National Institute of Standards and Technology - NIST).

Αυτό το μοντέλο θεωρεί το εν λόγω δίκτυο ως ένα σύνολο επτά διασυνδεδεμένων τομέων. Οι τέσσερις πρώτοι τομείς (Μαζική Παραγωγή, Μεταφορά, Διανομή και Πελάτες) ευθύνονται για την παραγωγή, την μετάδοση και την διανομή της ενέργειας, αλλά και για την εξασφάλιση της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων μέσω των συστημάτων Προηγμένων Μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure - AMI) [12]. Οι οντότητες των αγορών και των επιχειρήσεων καθώς και των παρόχων υπηρεσιών είναι αποκλειστικά υπεύθυνες για την διαχείριση της ενεργειακής αγοράς, την διανομή της ενέργειας και την παροχή υπηρεσιών.

Αυτού του τύπου η αρχιτεκτονική παρουσιάζει το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο μέσω μιας πολυεπίπεδης προσέγγισης. Βάσει του παρακάτω σχήματος, στο κατώτατο επίπεδο υπάρχουν τα δίκτυα Home Area (HAN), τα Δίκτυα κτιρίων (Building Area Networks - BAN) και τα Βιομηχανικής Περιοχής Δίκτυα (Industrial Area Networks - IAN). Με λίγα λόγια δηλαδή τα ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα στις κατοικήσιμες περιοχές των πελατών (κατοικίες, πανεπιστήμια, κτίρια ή βιομηχανικές περιοχές) τα οποία συνδέονται με συσκευές, έξυπνους μετρητές και συσκευές ενεργειακής διαχείρισης, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την αναφορά βλαβών ή θεμάτων κατανάλωσης ανά πάσα στιγμή και καθ' όλο το μήκος του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα μεταφέρονται αμφίδρομα μηνύματα δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των παρόχων και των καταναλωτών μέσω των συστημάτων Υποδομών Μέτρησης.



Εικόνα 2: Ένα πολυεπίπεδο μοντέλο της αρχιτεκτονικής ενός έξυπνου δικτύου, Πηγή:[13]

Στο μεσαίο στρώμα, βρίσκονται τα Δίκτυα Περιοχής Γειτονιάς ή Γειτνίασης (NAN), δηλαδή δίκτυα που καλύπτουν μικρές γεωγραφικές περιοχές και αποτελούνται από μια συστοιχία οικιακών δικτύων τα οποία μέσω των έξυπνων οικιακών μετρητών μεταβιβάζουν τα δεδομένα και πληροφορίες χρήσης και κατανάλωσης της ενέργειας σε ένα συσσωρευτή δεδομένων με σκοπό την διανομή αυτών στο ανώτερο στρώμα (WAN) στο οποίο εμπεριέχονται οι εκάστοτε πάροχοι.

Επιπλέον, υπάρχουν οι απομακρυσμένες μονάδες τερματικού (Remote Terminal Unit - RTU), δηλ. ηλεκτρονικές συσκευές που ευθύνονται για την διανομή των

δεδομένων στο σύστημα SCADA (στο ανώτερο στρώμα-επίπεδο) και συσκευές μέτρησης φασιθέτη (Phasor) (Power Management Unit -PMU) με σκοπό την καταγραφή της τάσης του ηλεκτρικού δικτύου και την πρόβλεψη ασταθειών σε αυτό. Στο ανώτερο στρώμα αυτού του εννοιολογικού μοντέλου, εντοπίζονται τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) τα οποία αποτελούνται από την σύνδεση πολλών δικτύων γειτνίασης. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τα NAN, είτε πρόκειται για πληροφορίες που περιγράφουν την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου ή της συνολικής κατανάλωσης μιας γειτονιάς ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία, παραδίδονται σε αυτό το ανώτερο στρώμα [12].

Στο εν λόγω στρώμα υπάρχει το εποπτικό σύστημα ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανάκτηση, επεξεργασία, παρουσίαση και διαχείριση των ληφθέντων δεδομένων. Ακόμη υπάρχει το Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων Μετρητών (Meter Data Management Systems - MDMS) μέσω του οποίου πραγματοποιούνται οι ενέργειες κοστολόγησης ανάλογα με την κατανάλωσή της ενέργειας των χρηστών, τα συστήματα διαχείρισης απόκρισης ζήτησης (Demand Response Management Systems - DRMS) και τα συστήματα διαχείρισης φορτίου (Load Management Systems - LMS).

Το σύστημα διαχείρισης διακοπών (Outage Management Systems - OMS) τα πληροφοριακά συστήματα ενημέρωσης του πελάτη (Customer Information Systems - CIS) και τα συστήματα διαχείρισης και παρακολούθησης των καιρικών και γεωγραφικών φαινομένων (Geographic Information Systems – GIS) βρίσκονται επίσης σε αυτό το στρώμα. Επιπλέον, η παραγωγή χύδην, η κατανεμημένη παραγωγή, τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, οι αγορές ενέργειας καθώς και οι πάροχοι υπηρεσιών εμπεριέχονται και αυτά επίσης σε αυτό το ανώτερο στρώμα [12].

Κεφάλαιο 2 – Το διαδίκτυο των πραγμάτων

2.1 Ενεργειακό Διαδίκτυο

Η αναζήτηση μοντέλων αιφόρου ενέργειας είναι ο κύριος παράγοντας που οδηγεί την έρευνα της τεχνολογίας των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα αντιπροσωπεύουν το παράδειγμα για την αποτελεσματική και περιβαλλοντικά αποδεκτή παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας σε ολόκληρη την αλυσίδα, από την πηγή έως τον χρήστη. Όσο αυτή η πολλά υποσχόμενη έννοια γαλουχείται, έχει ξεκινήσει ήδη έρευνα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί στον πραγματικό κόσμο. Οι τρέχουσες και οι μελλοντικές λύσεις στους τομείς των επικοινωνιών και της δικτύωσης μπορούν να συνδυαστούν σε ένα σύστημα που ικανοποιεί τις ανάγκες του οράματος ενός τέτοιου δικτύου (Smart Grid Vision) [29].

Η πρόοδος που επιτεύχθηκε στα έξυπνα δίκτυα επέτρεψε να ξεκινήσουν νέες και ουσιαστικές συζητήσεις για την ανάπτυξη ενός ενεργειακού διαδικτύου (Energy Internet) σε πλήρη κλίμακα. Η οικοδόμηση ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί σημαντική προσπάθεια και συνεργασία σε διάφορους τομείς όπως η τεχνολογία, η κοινωνική επιστήμη και η νομοθεσία. Μολονότι το διαδίκτυο είναι μια πλήρης τεχνολογία, υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας και των δεδομένων που μεταδίδονται στο διαδίκτυο.

Αυτές έχουν ως εξής [30]:

1. Σε σύγκριση με τα ψηφιακά δεδομένα, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ολοκληρώνεται κατά βάση κεντρικά ενώ αντίθετα η κατανάλωσή της πραγματοποιείται τοπικά. Η απόσταση μετάδοσης και η διαδικασία διανομής είναι ιδιαίτερα σημαντικές, δεδομένου των περιορισμένων επιλογών δρομολόγησης.
2. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλη κλίμακα, σε αντίθεση με το Διαδίκτυο όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και μετά αναμεταδίδονται. Η αποθήκευση, που χρησιμεύει ουσιαστικά σαν buffer, αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα σταθερότητας όταν ένα σύστημα χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα. Επομένως, κάθε έλλειψη δυνατότητας αποθήκευσης καθιστά το δίκτυο ευάλωτο και ασταθές.
3. Το Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο υπηρεσιών “Καλύτερης Δυνατής Προσπάθειας – (Best - Effort)”, βάζει σε δεύτερη μοίρα την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS). Το ενεργειακό δίκτυο από την άλλη μεριά, υποστηρίζει το αντίθετο. Η σημαντικότερη προτεραιότητα για το ενεργειακό

δίκτυο αποτελεί η ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών σε πραγματικό χρόνο. Επομένως, για το Διαδίκτυο πρωταρχικό στόχος είναι η κατανομή του εύρους ζώνης (bandwidth) με τρόπο τέτοιο ώστε τα πακέτα δεδομένων να είναι σε θέση να διανεμηθούν ορθά και αποτελεσματικά. Στα ενεργειακά δίκτυα, όπου η αιχμή της ζήτησης, μπορεί να συμβεί απρόοπτα και αναπάντεχα, η κατανάλωση παρακολουθείται στενά με στόχο να προβλέπονται πιθανές αιχμές ζήτησης και να προσαρμόζεται ανάλογα η παραγωγή, η μετάδοση και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τις διάφορες λύσεις που προτάθηκαν με σκοπό την αντιμετώπιση αυτών των διαφορών, ο προληπτικός έλεγχος και σαν έννοια αλλά και σαν μεθοδολογία φαίνεται να είναι η πιο ορθή. Ο έλεγχος αυτός αποτελείται από την πρόβλεψη των μελλοντικών γεγονότων και καταστάσεων αλλά και την ορθή και αποδοτικότερη λήψη αποφάσεων [30].

2.2 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ – Internet Of Things - IoT) αποτελεί έναν τύπο δικτύου στον οποίο οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο συνδέεται με το Διαδίκτυο [41]. Η έννοια του διαδικτύου των πραγμάτων δημιουργήθηκε από ένα μέλος της RFID (Radio Frequency Identification) κοινότητας το 1999 και πρόσφατα έγινε ευρέως γνωστή μέσω της πρακτικής της εφαρμογής που ενισχύθηκε από την ανάπτυξη των κινητών συσκευών, της ενσωματωμένης και πανταχού παρούσας επικοινωνίας, του Cloud computing και της ανάλυσης δεδομένων.

Το ΔτΠ είναι ένας κόσμος όπου δισεκατομμύρια αντικείμενα μπορούν να αισθάνονται και να επικοινωνούν, να μοιράζονται ή ακόμα και να ανταλλάσσουν πληροφορίες, μέσω διασύνδεσης σε δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα του διαδικτύου. Όλα αυτά τα διασυνδεδεμένα αντικείμενα συλλέγουν περιοδικά δεδομένα, τα οποία έπειτα από ανάλυση συχνά χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιήσουν κάποια αυτοματοποιημένη δράση, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες για το σχεδιασμό και την διαχείριση των συστημάτων τα οποία παρακολουθούν [42].

Ένας κοινός ορισμός για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ορίζει πως:

«Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) είναι ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων. Το Διαδίκτυο είναι πέρα από ένα απλό δίκτυο υπολογιστών, ένα δίκτυο συσκευών διαφόρων τύπων, μεγεθών, χρήσεων, οχημάτων, τηλεφώνων, οικιακών και άλλων συσκευών, παιχνιδιών, ιατρικών και βιομηχανικών οργάνων και συστημάτων, κτιρίων ακόμα και ανθρώπων που όλα είναι ικανά να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας πληροφορίες κοινής χρήσης και ωφέλειας [41].

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων περιλαμβάνει τρεις βασικές κατηγορίες αλληλεπιδράσεων:

1. Ανθρώπων που αλληλεπιδρούν με ανθρώπους.
2. Ανθρώπων που αλληλεπιδρούν με μηχανές και έξυπνα αντικείμενα.
3. Μηχανές και έξυπνα αντικείμενα που αλληλεπιδρούν με άλλες μηχανές και έξυπνα αντικείμενα

Είναι μια τεχνολογία η οποία υποστηρίζει την διάχυτη παρουσία στο περιβάλλον μιας μεγάλης ποικιλίας πραγμάτων ή αντικειμένων που συνδέονται ασύρματα ή ενσύρματα και μπορούν να αλληλεπιδρούν και να «επικοινωνούν» μεταξύ τους με σκοπό να συνεργάζονται με άλλα πράγματα ή αντικείμενα για τη δημιουργία νέων εφαρμογών και υπηρεσιών αλλά και την επίτευξη κοινών στόχων.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι τα εξής:

1. **Νοημοσύνη:** Η νοημοσύνη ενισχύει και αναβαθμίζει τις όποιες δυνατότητες του, επιτρέποντας έτσι στις εκάστοτε συσκευές να ανταποκρίνονται, να αλληλεπιδρούν και να προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες καταστάσεις και μοτίβα, με σκοπό την αυτόματη εκτέλεση ενεργειών.
2. **Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα μεταξύ αντικειμένων στο ΔτΠ είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς αποτελεί βασική συνθήκη για την λειτουργία της συλλογικής νοημοσύνης του δικτύου.
3. **Αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών:** Μια σημαντική διαφορά μεταξύ του διαδικτύου και του Διαδικτύου των Πραγμάτων αποτελεί ο αριθμός των συσκευών, που επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο αριθμός αυτός είναι πολύ μεγαλύτερος στο ΔτΠ από ότι στο κλασικό Διαδίκτυο αυξάνοντας έτσι σημαντικά το φορτίο που πρέπει να εξυπηρετηθεί.
4. **Αισθητήρες και αντίληψη:** Η έννοια του ΔτΠ δεν θα υπήρχε σε καμία περίπτωση εάν δεν υπήρχαν οι αισθητήρες μέσω των οποίων ανιχνεύονται αλλαγές που συμβαίνουν σε φυσικά μεγέθη (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) στο περιβάλλον τους. Οι τεχνολογίες ανίχνευσης παρέχουν στις συσκευές τη δυνατότητα να αντιληφθούν το περιβάλλον τους.
5. **Ασφάλεια:** Βασικό επίσης χαρακτηριστικό του ΔτΠ είναι η ασφάλεια η οποία δίνει την δυνατότητα ασφαλούς σύνδεσης στις συσκευές που από τη φύση τους χαρακτηρίζονται ευάλωτες σε απειλές και προκλήσεις. Έτσι, για να μπορούμε να μιλάμε για την έννοια του ΔτΠ οφείλουμε να διασφαλίσουμε

την προστασία των δεδομένων που διακινούνται και ανταλλάσσονται μέσω των εφαρμογών.

Στο πλαίσιο αυτό, η ανάγκη για έρευνα και η ανάπτυξη καθώς και οι προκλήσεις για τη δημιουργία ενός νέου “έξυπνου” κόσμου είναι μεγάλες. Ένας κόσμος όπου πραγματικό, ψηφιακό και εικονικό ισορροπούν και συγκλίνουν ώστε να δημιουργήσουν έξυπνα περιβάλλοντα και κατ' επέκταση ευφυείς κοινότητες και πόλεις [42].

Συνοπτικά, ο στόχος του ΔτΠ είναι να παρέχει στους χρήστες τον μεγαλύτερο δυνατό έλεγχο εξ' αποστάσεως μέσω συσκευών συνδεδεμένων στο διαδίκτυο. Όπως είναι φανερό, ο άνθρωπος αποτελεί τον πρώτο και τον πιο βασικό κρίκο της επικοινωνιακής αυτής αλυσίδας. Η επικοινωνία αυτή μεταξύ ΔτΠ συσκευών και ανθρώπων επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης διαδικτυακών εφαρμογών όπως αναλύεται παρακάτω.

2.3 Αισθητήρες

Ένας αισθητήρας (sensor) είναι μια συσκευή που “αισθάνεται” το περιβάλλον της και παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο είναι ανάλογο με ένα φυσικό μέγεθος (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, φωτεινότητα). Το ηλεκτρικό αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό προκειμένου να είναι κατάλληλο για να μεταδοθεί πάνω από το διαδίκτυο [20]. Οι αισθητήρες του έξυπνου ενεργειακού δικτύου λειτουργούν ως σταθμοί ανίχνευσης και επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση εξοπλισμού όπως μετασχηματιστές και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και τη διαχείριση των ενεργειακών πόρων σε σχέση με την ζήτηση.

Οι αισθητήρες ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών και της θερμοκρασίας της γραμμής ρεύματος. Τα στοιχεία αυτά στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της γραμμής. Η συγκεκριμένη διαδικασία ονομάζεται δυναμική διαβάθμιση γραμμής και δίνει την δυνατότητα στις αρμόδιες εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας να αυξήσουν την ροή της ισχύος των υφιστάμενων γραμμών μεταφοράς.

Οι έξυπνοι αισθητήρες δικτύου μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν για οικιακές ανάγκες αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις και οργανισμούς με σκοπό την μέγιστη αύξηση της ενεργειακής τους απόδοσης [21]. Επομένως, όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό η έννοια του ενεργειακού δικτύου δε θα μπορούσε να υφίσταται δίχως αισθητήρες.



Εικόνα 3: Έξυπνοι μετρητές ενός δικτύου, Πηγή:[22]

Ένας αισθητήρας έξυπνου δικτύου διαθέτει τέσσερα μέρη:

1. Έναν μορφοτροπέα,
2. Έναν μικροϋπολογιστή,
3. Έναν πομποδέκτη,
4. Μια πηγή ενέργειας.

Ο μορφοτροπέας παράγει ηλεκτρικά σήματα που βασίζονται σε φαινόμενα όπως η τάση της γραμμής ισχύος. Ο μικροϋπολογιστής είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία και την αποθήκευση των δεδομένων αυτών. Ο πομποδέκτης, με ασύρματη ή ενσύρματη σύνδεση λαμβάνει εντολές από έναν κεντρικό υπολογιστή και μεταδίδει τα κατάλληλα δεδομένα σε αυτόν. Η ισχύς για κάθε αισθητήρα μπορεί να προέρχεται από την ίδια την ηλεκτρική συσκευή ή από μια μπαταρία. Σχεδόν όλες οι μεγάλες εταιρείες οικιακών συσκευών παράγουν “έξυπνες” συσκευές με δυνατότητες σύνδεσης στο τοπικό δίκτυο αλλά και στο διαδίκτυο.

Οι έξυπνοι αισθητήρες συνδέουν επίσης αυτές τις συσκευές με έξυπνους μετρητές, παρέχοντας άμεση πρόσβαση στην κατανάλωση ρεύματος σε πραγματικό χρόνο. Οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να αναπτύξουν μία πολιτική τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο και οι καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες αυτές για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε ώρες αιχμής [21].

2.3.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο μπορεί να παρέχει αποτελεσματική, αξιόπιστη και ασφαλή ενέργεια αλλά και υπηρεσίες αυτοματισμού με αμφίδρομη επικοινωνία και ροές ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιώντας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μπορούμε επίσης να έχουμε κάποια χρήσιμα στατιστικά στοιχεία και πληροφορίες άμεσα σχετιζόμενα με τις φυσικές ή περιβαλλοντολογικές συνθήκες ή τη χρήση ενέργειας που μπορούν να συμβάλλουν στην βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής. Για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο θέλουμε να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή αν λειτουργούν τα μηχανήματα, σε τι θερμοκρασία καθώς και πόση ενέργεια καταναλώνουν. Έτσι αν κάποιο μηχάνημα υπερθερμανθεί, θα θέλαμε να ενεργοποιείται αυτόματα το σύστημα ψύξης.

Μέσω αυτής της αμφίδρομης επικοινωνίας του κέντρου ελέγχου και του δικτύου αισθητήρων, το δίκτυο είναι ικανό να γνωρίζει και να διαχειρίζεται βασικές πληροφορίες σχετικά με την χρήση ισχύος και να προλαμβάνονται έτσι καταστροφές στον εξοπλισμό, ή στην διαδικασία παραγωγής. Αυτό το είδος δικτύων, υιοθετούνται από εταιρείες με σκοπό να επιβιώσουν οικονομικά στο τεχνολογικό περιβάλλον τους και να μειώσουν το κόστος παραγωγής τους. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι αυτή των ασύρματων αυτόματων μετρητών (Wireless Automatic Meter Reading - WAMR) με βάση την οποία δημιουργείται ένα σύστημα το οποίο συλλέγει, μεταδίδει και επεξεργάζεται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μέσω των αισθητήρων. Επομένως τα συστήματα αυτά, όπως αναφέραμε, πέρα από τη πρόληψη δαπανηρών ζημιών σε εξοπλισμό και παραγωγή μπορούν να μειώσουν και τα λειτουργικά κόστη μιας επιχείρησης αφού οι ανάγκες προσωπικού για εποπτεία και ανάλυση δεδομένων θα είναι σαφώς μικρότερες.

Ωστόσο, τέτοια συστήματα σχετίζονται άμεσα με ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου. Η αλληλεπίδραση και η αμφίδρομη επικοινωνία στα πλαίσια ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου προϋποθέτει την αποθήκευση και την χρήση σημαντικών πληροφοριών των καταναλωτών. Σύμφωνα με αυτό η ιδιωτικότητα των καταναλωτών οφείλει με κάθε τρόπο να διασφαλίζεται από κάθε είδους μορφής επίθεσης. Για παράδειγμα ζημιές που προκαλούνται από αστοχία υλικών, περιπτώσεις “εισβολών” στο δίκτυο, πληροφορίες απορρήτου των πελατών που διαρρέουν, είναι μερικά από τα ζητήματα που ενδέχεται να προκύψουν. Συνεπώς, μια ασφαλής και αξιόπιστη επικοινωνία δικτύου-αισθητήρα με κύριο γνώμονα την ιδιωτικότητα μπορούν να χαρακτηρίσουν ένα ενεργειακό δίκτυο λειτουργικά αποτελεσματικό.

Παρόλα αυτά, ορισμένα από τα πρότυπα ασφαλείας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας δεν καλύπτουν τις απειλές που προκύπτουν από την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστα προβλήματα ασφαλείας στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο [23].

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι:

1. Αυτονομία
2. Χαμηλό κόστος
3. Προσαρμοστικότητα

Πέραν όμως από τα χαρακτηριστικά των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, αξίζει να αναφερθούν και οι εφαρμογές τους στο επίπεδο του έξυπνου ενεργειακού δικτύου καθώς και οι τομείς στους οποίους συναντώνται.

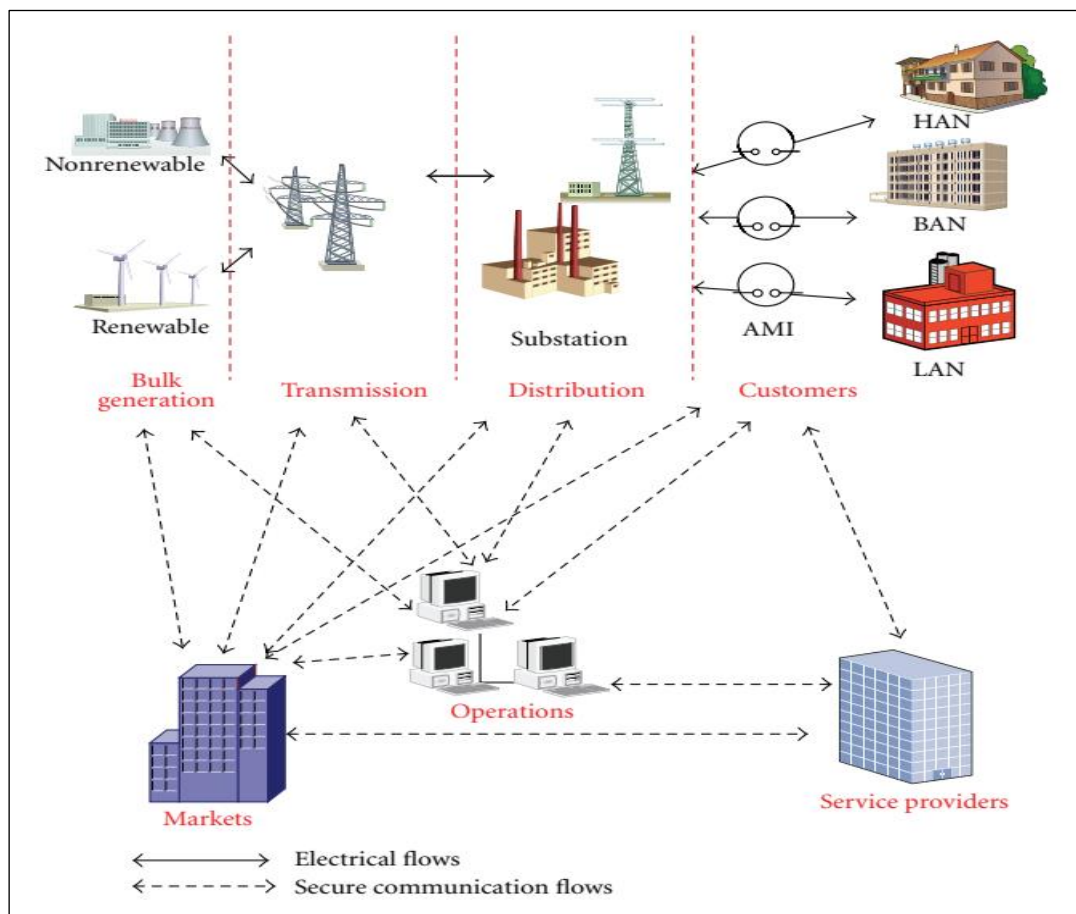
2.3.2 Εφαρμογές ασύρματων αισθητήρων στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο

Οι τρεις βασικές διαδικασίες ενός έξυπνου δικτύου είναι η παραγωγή, η διανομή-παροχή και η χρήση της ενεργειακής ισχύος. Άμεσα συνδεδεμένοι με τις τρεις αυτές διαδικασίες είναι και οι επτά τομείς όπως αναφέρονται παρακάτω:

1. Τομέας Παραγωγής
2. Τομέας Πελατών
3. Τομέας Αγοράς
4. Τομέας Παροχής Υπηρεσιών
5. Τομέας Μεταφοράς
6. Τομέας Δικτύου Διανομής
7. Τομέας Κέντρου Ενεργειών

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χαρακτηρίζεται ως ζωτικό στοιχείο ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου.

Για τη διανομή της ενεργειακής ισχύος από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας στους καταναλωτές, το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο περιέχει τις τρεις βασικές αυτές διαδικασίες που προαναφέρθηκαν καθώς και τους επτά συγκεκριμένους τομείς οι οποίοι φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 4) [24].

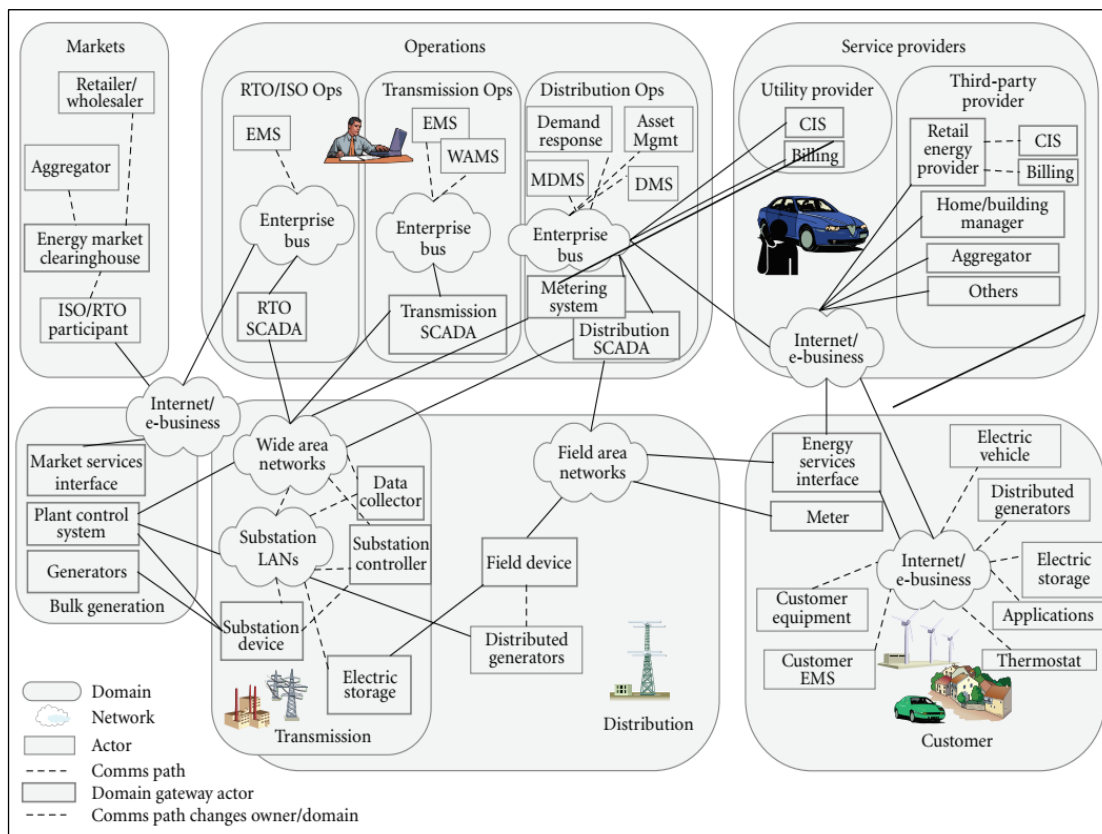


Εικόνα 4: Μοντέλο αναφοράς NIST για ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, Πηγή:[25]

Χρησιμοποιώντας ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων οι πάροχοι δημιουργούν «προφίλ» των πελατών τους τα οποία είναι βασισμένα σε δεδομένα τοποθεσίας, περιβάλλοντος, και την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο του κάθε πελάτη.

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων πλεονεκτεί σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους παρακολούθησης του δικτύου. Η μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης, η έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων και η βέλτιστη δυνατή ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο είναι σημαντικά πλεονεκτήματα. Οι κόμβοι αισθητήρων έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν και να επικοινωνούν με το συνολικό ενεργειακό δίκτυο και με το κέντρο ελέγχου, με σκοπό να παρέχουν στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα στην διαχείριση του δικτύου.

Με στόχο την ανάπτυξη ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου αισθητήρων στα πλαίσια του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, υπάρχουν τρεις εναλλακτικές λύσεις που βασίζονται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4: ZigBee, WirelessHART και ISA100.11a, με το ZigBee να προτιμάται κυρίως για δικτύωση εντός οικίας.



Εικόνα 5: Πλαίσιο ενός έξυπνου δικτύου, Πηγή:[26]

Οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων χωρίζονται στην πράξη του έξυπνου δικτύου σε τρεις βασικές κατηγορίες: Την παραγωγή ενέργειας, την παροχή της και την κατανάλωση [23]:

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

Ένα εργοστάσιο παραγωγής μπορεί να περιέχει αρκετές γεννήτριες που στο σύνολο τους ελέγχουν τις ροές καυσίμων, με σκοπό να βελτιστοποιηθεί ο ρυθμός θερμότητας (αποδοτικότητα της γεννήτριας) οι εκπομπές αερίων κ.α. προσαρμόζοντας την παραγωγή της γεννήτριας σε κάθε μονάδα. Οι ασύρματοι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ισχύος των συστημάτων παραγωγής και συνεπώς για την πρόληψη κινδύνου ή βλαβών.

Αισθητήρες που κάνουν χρήση των προτύπων IEEE 802.15.4 μπορούν να λειτουργήσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα ακόμα και σε δυσμενείς συνθήκες λήψης χωρίς εξωτερική παροχή ενέργειας. Εκτός αυτού, η μεταφορά και η εγκατάσταση τους αποτελεί μια σχετικά απλή διαδικασία και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν μέσα σε λίγες ώρες και στα κατάλληλα σημεία, όπου η εφαρμογή τους κρίνεται απαραίτητη. Επομένως, κάθε μία μονάδα παραγωγής είναι ικανή να υπολογίζει παραμέτρους και πληροφορίες (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση αέρα κλπ.) μέσω των

αισθητήρων αυτών. Αυτές οι πληροφορίες τροφοδοτούνται στο σύστημα απόκτησης δεδομένων της μονάδας παραγωγής ενέργειας [27].

Εν κατακλείδι, όπως όλα δείχνουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα φέρει τεράστιου μεγέθους αλλαγές στον τρόπο ζωής και στην καθημερινότητα της ανθρωπότητας. Αλλαγές που πρόκειται να επηρεάσουν και να βελτιώσουν, εκτός των άλλων, τομείς όπως η υγεία και η περίθαλψη, το εμπόριο και η οικονομία. Έτσι, στα επόμενα χρόνια οι έξυπνες συσκευές θα συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις που θα στηρίζονται θεμελιωδώς στην επικοινωνία και στην αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων, φαινόμενο που ονομάζεται περιβάλλουσα νοημοσύνη. Βασικός και πρωταρχικός στόχος της έννοιας αυτής, πριν ακόμα και από την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, πρέπει να είναι ένα περιβάλλον που στοχεύει στην μείωση των αποβλήτων αλλά και του κόστους. Συνοπτικά, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποσκοπεί στην μετατροπή του φυσικού κόσμου σε ένα μεγάλο και άρτια οργανωμένο σύστημα πληροφοριών.

Μεταφορά και διανομή ισχύος:

Ο ρόλος των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων φαίνεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στους σταθμούς/υποσταθμούς και λειτουργίες του ηλεκτρικού συστήματος, μέσω της αυτοματοποίησης του. Έτσι, είναι εφικτή η εγκατάσταση αισθητήρων για ενέργειες ελέγχου, παρακολούθησης και εγκατάστασης των συστημάτων που εξυπηρετούν την μεταφορά και την διανομή της ισχύος [27].

Τα ασύρματα αυτά δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια οικονομικά προσιτή και ταυτόχρονα πιο αποδοτική λύση επικοινωνίας με σκοπό την παρακολούθηση απομακρυσμένων συστημάτων. Έτσι, τα διαφορετικά λειτουργικά τμήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου (π.χ. μονάδες παραγωγής, κινητήρες κλπ.), ελέγχονται εύκολα από απομακρυσμένους κόμβους έξυπνων αισθητήρων οι οποίοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως βασικά στοιχεία της υποδομής και του εξοπλισμού ενός έξυπνου πλέγματος.

Συμπερασματικά, ένα απρόβλεπτα ζημιογόνο για την ισχύ σύστημα του δικτύου μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί και να αντιμετωπιστεί προτού επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα [28]. Συνεπώς, η μέτρηση των τάσεων και των ρευμάτων που σχετίζεται με οποιοδήποτε μέρος του έξυπνου δικτύου (π.χ. μετασχηματιστές, αισθητήρες ισχύος και θερμοκρασίας κλπ.), είναι εφικτό να παρακολουθείται.

Κατανάλωση ισχύος:

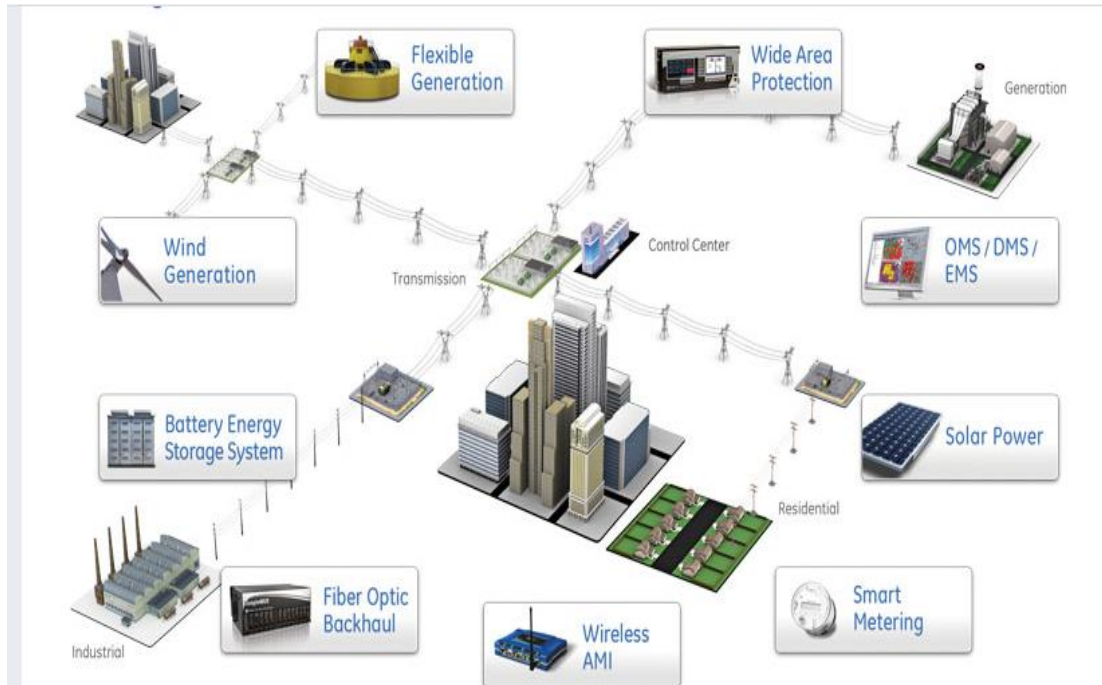
Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα οικιακής περιοχής (HAN) και η τεχνολογία ZigBee είναι αυτή που συχνά συναντάται σε οικιακό επίπεδο παρέχοντας μεγάλο εύρος κάλυψης τοπικής περιοχής. Τα ασύρματα συστήματα μετρητών αυτόματης ανάγνωσης (WAMR) είναι μια ευφυής εφαρμογή του έξυπνου δικτύου, που μέσω αυτών γίνεται η παρακολούθηση, ο έλεγχος, η ανίχνευση, και οι αναφορές προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι καταναλωτές μπορούν να

παρακολουθούν ή ακόμα και να επεξεργάζονται τα αρχεία τους ώστε να πάρουν σχετικές πληροφορίες μέτρησης ακόμα και μέσω μιας έξυπνης συσκευής (έξυπνο κινητό, φορητός υπολογιστής κλπ.).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να αυξήσουν την απόδοση των επιχειρήσεων και την αξιοπιστία τους σε λειτουργίες που σχετίζονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, το σύστημα ανάγνωσης μπορεί να ελέγχει πηγές φωτός, θερμοκρασία δωματίου, ατμοσφαιρική πίεση αλλά και δεδομένα από διάφορες έξυπνες συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο. Αν για παράδειγμα για λόγους υγείας, η θερμοκρασία ενός δωματίου απαιτείται να μείνει σταθερή, το σύστημα μέσω κατάλληλων αυτοματισμών θα διατηρήσει την απαιτούμενη αυτή θερμοκρασία. Το σύστημα έξυπνου δικτύου είναι σε θέση, μέσω της άμεσης πρόσβασης που έχει σε δεδομένα και πληροφορίες, να παρέχει οφέλη και να δημιουργεί ενεργειακά προφίλ για τον εκάστοτε πελάτη, καθώς και να τροποποιεί τα δεδομένα αυτά βάσει τόσο των αναγκών και της καθημερινότητάς του, όσο και του συμφέροντός του.

Μέσα σε μια οικία, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων εξυπηρετεί την ανάγκη της σύνδεσης των διαφόρων συσκευών με έναν κεντρικό δρομολογητή ισχύος. Αυτό το δίκτυο μέσω της σύνδεσης του με έναν έξυπνο μετρητή μπορεί να συνδέεται άμεσα με κατάλληλο λογισμικό ελέγχου. Ο έξυπνος μετρητής αποτελεί σημαντικά αναπόσπαστο κομμάτι ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου, λόγω της χρήσης του ως διεπαφή και εργαλείο παροχής χρήσιμων πληροφοριών και δεδομένων των καταναλωτών. Έτσι, μέσω των μετρητών αυτών οι εταιρείες μπορούν να ελέγχουν, να προσαρμόζουν την κοστολογική τους κατάσταση και να καθορίζουν την συνέπεια ή μη των καταναλωτών χωρίς την χρήση επιπλέον προσωπικού, ενώ από την άλλη πλευρά, οι καταναλωτές μπορούν σε πραγματικό χρόνο να παρακολουθούν και να ρυθμίζουν τις ανάγκες τους βάσει των προσφορών και των συνθηκών που τους προτείνονται ή τους ορίζονται. Για παράδειγμα, αν οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χαμηλότερη κοστολόγηση σε ώρες μη αιχμής με σκοπό την αποφυγή συμφόρησης και βλαβών, οι καταναλωτές οφείλουν να προσαρμόζουν τις ανάγκες και τις συνήθειες τους βάσει αυτών των περιόδων. Τέλος, σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, οι έξυπνοι μετρητές δύνανται να ξεχωρίζουν τους έξυπνους κόμβους δικτύου (Smart Grid Nodes - SGN) του κάθε καταναλωτή μέσω της συλλογής των κατάλληλων πληροφοριών. Αν ο όγκος αυτών των πληροφοριών δεν είναι ικανοποιητικός ο έξυπνος μετρητής είναι προγραμματισμένος να αλλάζει το τρέχον προφίλ σε προφίλ εξοικονόμησης ενέργειας.

Κεφάλαιο 3 – Τεχνολογίες επικοινωνιών στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα



Εικόνα 6: Έξυπνο δίκτυο (Παραγωγή, Μεταφορά, Χρήση), Πηγή:[14]

Όπως αναφέρθηκε και στο 1^ο Κεφάλαιο, τα τρία βασικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής των έξυπνων δικτύων είναι η Παραγωγή, η Μεταφορά και Διανομή και η Κατανάλωση/Χρήση από τους τελικούς καταναλωτές-χρήστες. Κάθε επίπεδο, χρησιμοποιεί μια πληθώρα τεχνολογιών και συστημάτων για να μεγιστοποιήσει την απόδοση του έξυπνου ενεργειακού δικτύου.

1) Παραγωγή

Συγκεκριμένα, η παραγωγή καθαρής ενέργειας περιλαμβάνει την χρήση τεχνολογιών όπως:

- Ανεμογεννήτριες
- Ηλιακά πάνελ
- Καθαρή αεριοποίηση άνθρακα
- Κινητήρες αερίου
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Προστασία και έλεγχος γεννήτριας

- Διασύνδεση δικτύου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Πολλές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, ενώ αρκετές από αυτές μάλιστα χρησιμοποιούνται ήδη από τον άνθρωπο εκατοντάδες χρόνια. Σήμερα παρατηρούμε παρόμοιες τεχνικές αλλά σαφώς πιο εξελιγμένες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποτελεί τη μακροχρόνια εξέλιξη των ανεμόμυλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν από τον 14^ο αιώνα στην Δυτική Ευρώπη για την αποστράγγιση περιοχών κοντά στο δέλτα ποταμών.

2) Μετάδοση και διανομή

Όπως και παραπάνω, η μετάδοση και η διανομή ενέργειας προϋποθέτει την χρήση συγκεκριμένων τεχνολογιών όπως:

- Διαγνωστικά συστήματα και οπτικοποίηση πληροφορίας
- Πρόβλεψη της ζήτησης και αύξηση της αξιοπιστίας
- Προστασία συστήματος ισχύος και ανίχνευση σφαλμάτων
- Επαναφορά της παραγωγής ισχύος
- Συστήματα ελέγχου δικτύου
- Ασύρματη παρακολούθηση και έλεγχος
- Δίκτυα οπτικών ινών
- Ψηφιοποίηση υποσταθμών
- Μετασχηματιστές και διαχείριση τάσης
- Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας
- Συστήματα διαχείρισης της διανομής της ισχύος (Distribution Management System - DMS)
- Συστήματα διαχείρισης των διακοπών λειτουργίας (Outage Management System - OMS)

3) Αποτελεσματική τελική χρήση

Τέλος, στην αποτελεσματική τελική χρήση οδηγούν οι παρακάτω έννοιες, συστήματα και τεχνολογίες:

- Ενεργειακά αποδοτικές έξυπνες συσκευές
- Έξυπνοι μετρητές
- Ασύρματη προηγμένη υποδομή μέτρησης
- Δυνατότητες απόκρισης ζήτησης
- Παρακολούθηση οικιακής χρήσης της ενέργειας

- Τεχνολογία τιμολόγησης χρόνου χρήσης
- Διαχείριση εφεδρικών συστημάτων και έλεγχος ισχύος
- Συστήματα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System - EMS)
- Έξυπνα τηλέφωνα και ρολόγια
- Αισθητήρες
- Συστήματα Αναγνώρισης Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID)
- Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

3.1 Ο ρόλος της επικοινωνίας στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα

Η επικοινωνία είναι ένα από τα πιο κρίσιμα και βασικά στοιχεία που καθιστούν δυνατή την λειτουργία των εφαρμογών στα έξυπνα δίκτυα. Οι διαφορετικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την τηλεπικοινωνία διακρίνονται σε ασύρματες και ενσύρματες και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μεταφορά και την ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των έξυπνων μετρητών και του λογισμικού ελέγχου. Μια τέτοια ροή πληροφοριών μπορεί να υπάρχει στην διασύνδεση μεταξύ των αισθητήρων και των έξυπνων οικιακών μετρητών ή ακόμα μεταξύ των μετρητών και των κέντρων συλλογής δεδομένων των χρηστών.

Σύμφωνα με τον Wenpeng L., [31] στην πρώτη περίπτωση η ροή δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μέσω ασύρματου δικτύου επικοινωνίας όπως π.χ. ZigBee ή Wi-Fi. Οι τεχνολογίες αυτές, όπως θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο, είναι ιδανικές για τα οικιακά δίκτυα (Home-Area Networks - HAN) [31].

Ένα σύστημα επικοινωνίας και έξυπνης μέτρησης αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία [32]:

1. Έξυπνο μετρητή (Smart meter) ο οποίος καθιστά δυνατή την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Επίσης καταγράφει δεδομένα και στοιχεία κατανάλωσης και χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Τα δίκτυα τοπικής περιοχής (Local Area Networks - LAN) και τα δίκτυα οικιακής χρήσης (Home-Area Networks - HAN), τα οποία είναι δίκτυα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των συσκευών στα πλαίσια μιας οικίας ή μιας μικρής περιοχής (πανεπιστημιούπολεις).
3. Δίκτυα περιοχής γειτονιάς ή δίκτυα γειτνίασης (Neighborhood Area Network - NAN) μέσω των οποίων συλλέγονται τα δεδομένα από τα τοπικά δίκτυα που τα αποτελούν. Τα δεδομένα μετέπειτα μεταβιβάζονται στο ανώτερο επίπεδο του

δικτύου ευρείας περιοχής (Wide Area Network - WAN) όπως αναλύεται παρακάτω.

4. Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Network - WAN) είναι τα δίκτυα επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιούνται για την προώθηση των δεδομένων των μετρήσεων στα κέντρα ελέγχου.

Οι έξυπνες εφαρμογές ταξινομούνται ανάλογα με τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το εύρος της περιοχής κάλυψης.

3.2 Προδιαγραφές επικοινωνίας σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο

Τα δίκτυα επικοινωνίας που συνδέονται με τις εφαρμογές διαχείρισης της ενέργειας πρέπει απαραίτητα να πληρούν κάποιες βασικές προϋποθέσεις και χαρακτηριστικά τα οποία διαφέρουν από τα συμβατικά ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Αυτά λοιπόν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά αναλύονται παρακάτω:

1. Η μέγιστη δυνατή αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα είναι δυο βασικές έννοιες πάνω στις οποίες στηρίζεται η ανάπτυξη και η ορθή λειτουργία των δικτύων. Ένα αξιόπιστο δίκτυο πρέπει να μπορεί να κάνει εκτίμηση της κατάστασής του και να ανιχνεύει τα οποιαδήποτε σφάλματα, ενώ ταυτόχρονα οφείλει να υποστηρίζει τις διάφορες και διαφορετικού τύπου συσκευές διασύνδεσης.
2. Η ευελιξία του δικτύου αποτελεί ένα από τα βασικά γνωρίσματα και χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου, εφόσον το δίκτυο πρέπει να μπορεί να χειρίζεται ορθά τις διπλής κατεύθυνσης ροές ενέργειας (κατανάλωσης και παραγωγής) με σκοπό την καλύτερη διασφάλισή του και την αποτροπή της έκθεσης / βλάβης της αξιοπιστίας του. Ακόμη, χρειάζεται να μπορεί να διαχειριστεί και να ελέγχει το ποσό της ζητούμενης ενέργειας κυρίως κατά τις ώρες αιχμής.
3. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Η ευρύτερη έννοια της αειφορίας επομένως, συνδέεται άμεσα και αποτελεί βασική προϋπόθεση για την τεχνολογία των έξυπνων δικτύων.

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο αυτό, όπως είναι φανερό, αναφέρεται στην προσπάθεια εξέλιξης και εκσυγχρονισμού του ήδη υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και στην μετατροπή αυτού σε ένα ενεργειακό δίκτυο που θα χαρακτηρίζεται από διαλειτουργικότητα, ευχρηστία και ασφαλή ενσωμάτωση επικοινωνιών και πληροφοριακών τεχνολογιών όπως αναφέρονται παρακάτω.

3.3 Ασύρματες τεχνολογίες

3.3.1 Ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας

3.3.1.1 Bluetooth

Η ασύρματη τεχνολογία μεταξύ κοντινών σε απόσταση ψηφιακών συσκευών που έγινε γνωστή μέσω των κινητών τηλεφώνων τα τελευταία 20 περίπου χρόνια ονομάζεται Bluetooth. Η εμβέλεια του μπορεί να έχει ένα εύρος μεταξύ 10 και 100 μέτρων ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη ισχύ εκπομπής. Η εν λόγω τεχνολογία, η οποία πήρε το όνομα της από έναν Δανό βασιλιά με εξαιρετικές επικοινωνιακές ικανότητες, συναντάται πλέον σε διάφορες και διαφορετικού τύπου συσκευές, πέρα από τα κινητά τηλέφωνα, όπως είναι οι φωτογραφικές μηχανές, οι εκτυπωτές, τα ακουστικά και τα ηχεία με σκοπό την αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών αυτών.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι δεν απαιτείται η άμεση οπτική επαφή όπως στις υπέρυθρες, ενώ επιτρέπεται η σύνδεση πολλών συσκευών ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί μέσω σύνδεσης Bluetooth να δέχεται από μια κάμερα φωτογραφίες και ταυτόχρονα να παράγει μουσική σε ηχεία. Η μόνη προϋπόθεση είναι η αρχική σύζευξη μεταξύ των συμμετεχόντων συσκευών. Τα μειονεκτήματα της βέβαια είναι ότι στο εύρος αυτό των 100 μέτρων η εμβέλεια περιορίζεται αισθητά στις περιπτώσεις «εμποδίων» όπως είναι τα δάπεδα, οι τοίχοι κλπ.

Πέραν όμως από την επικοινωνία και την ποιότητα της καθημερινότητας, τις οποίες έννοιες όντως η τεχνολογία του Bluetooth βοήθησε σημαντικά, άλλες πτυχές και κλάδοι που επηρεάστηκαν θετικά με την ύπαρξη του είναι:

1. Η ασφαλής πλοήγηση και η ασφάλεια των οχημάτων.
2. Η υγεία και η ιατρική, μέσω ειδικών συσκευών όπως μετρητές οξυγόνου κ.α.
3. Η άθληση, μέσω διαφόρων πληροφοριών που παρέχονται κατά την κίνηση και την γυμναστική.

3.3.1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Network - WLAN) χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να συνδεθεί στο τοπικό δίκτυο μέσω των έξυπνων υπολογιστικών συσκευών (τηλέφωνα, ταμπλέτες κλπ.) και η επίτευξη της σύνδεσης αυτής στο δίκτυο πραγματοποιείται μέσω ασύρματων σημείων πρόσβασης (Access Points). Μερικά βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου αυτού είναι η εύκολη και ευέλικτη υποδομή του, καθώς και το χαμηλότερο

κόστος σε σχέση με εκείνο των ενσύρματων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν είτε για μια ασύρματη επέκταση του ήδη υπάρχοντος ενσύρματου δικτύου, χρησιμοποιώντας έναν βασικό-κύριο κόμβο ο οποίος συνδέεται μέσω Ethernet καλωδίου με το τοπικό δίκτυο και επικοινωνεί ασύρματα με τους άλλους σταθμούς, είτε για τοπική διασύνδεση (π.χ. διαφορετικά κτίρια ή μικρές περιοχές) τύπου σημείο προς σημείο (point to point) μέσω γεφυρών-δρομολογητών, είτε τέλος, για δικτύωση ad hoc (αδόμητη δικτύωση) ομότιμων κόμβων και αυθαίρετης τοπολογίας που δεν απαιτούν ούτε προϋποθέτουν κάποια προϋπάρχουσα υποδομή και σχεδιασμό.

3.3.1.3 ZigBee

Η τεχνολογία ZigBee χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές οι οποίες προϋποθέτουν χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας. Η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει ασύρματους ηλεκτρικούς διακόπτες, την διασύνδεση οθονών των ηλεκτρικών μετρητών αλλά και γενικότερα βιομηχανικό εξοπλισμό ασύρματης μεταφοράς δεδομένων. Η τεχνολογία ZigBee η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15 μπορεί να επιτρέψει την σύνδεση έως και 255 διαφορετικών συσκευών σε ένα δίκτυο με εμβέλεια έως και 100 μέτρα.

Ο υποστηριζόμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι μεταξύ 20kbs-250kbs, κάτι το οποίο καλύπτει την περιοδική μεταβίβαση δεδομένων από κάθε τερματική συσκευή. Η τεχνολογία ZigBee χαρακτηρίζεται από απλότητα, αποδοτικότητα και οικονομία σε σύγκριση με παρόμοια δίκτυα (Wi-fi, Bluetooth).

Επίσης, η τεχνολογία αυτή δίνει την δυνατότητα διασύνδεσης και ενσωμάτωσης έξυπνων μετρητών και συσκευών. Έτσι οι καταναλωτές είναι σε θέση να ελέγχουν την ενέργειά που καταναλώνουν σε πραγματικό χρόνο.

3.3.1.4 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID)

Ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο υποδομής αναπτύσσεται σήμερα προκειμένου να παρακολουθεί, να διαχειρίζεται και να ελέγχει την παραγωγή, την διανομή και την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το εν λόγω δίκτυο είναι ένα σύνολο υποσυστημάτων που ενσωματώνει τις τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιακών δικτύων στο παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο [17]. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να περιορίζει και να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέσω της ενσωμάτωσης και της κατανομής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την αποθήκευση ενέργειας και τέλος, την πραγματοποίηση προβλέψεων με σκοπό την ανταπόκριση στις ανάγκες των προμηθευτών και των καταναλωτών [18].

Η τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων είναι μια τεχνολογία αυτόματης αναγνώρισης που χρησιμοποιεί ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων για τον εντοπισμό

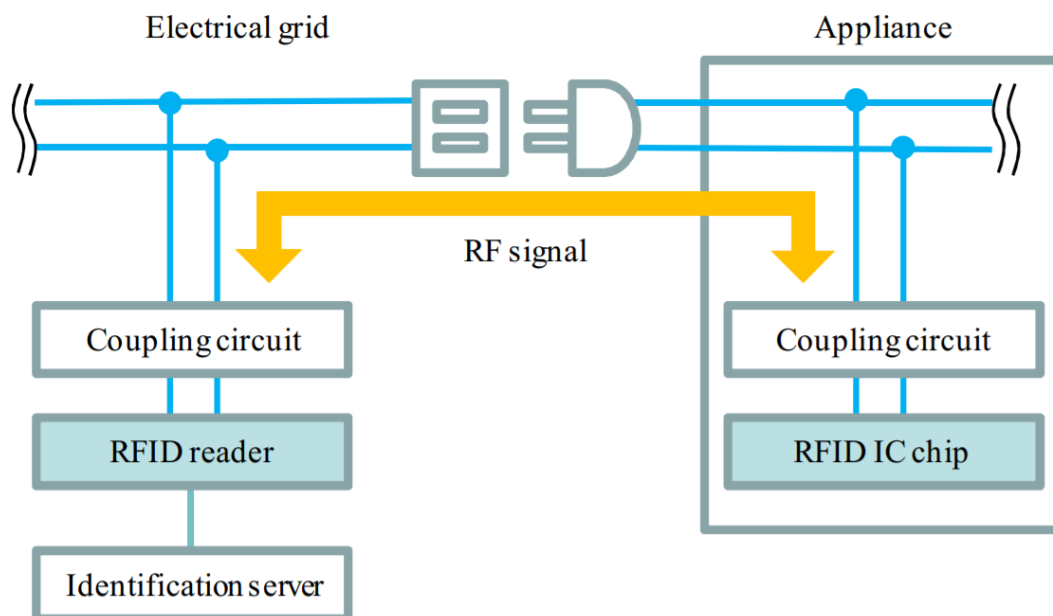
αντικειμένων που φέρουν ετικέτες. Αποτελείται από έναν αναγνώστη (reader) ο οποίος εκπέμπει ένα σήμα σε μια φέρουσα συχνότητα, προς μία ή περισσότερες RFID ετικέτες μέσα στο πεδίο κάλυψης.

Οι εν λόγω ετικέτες εφαρμόζονται σε προϊόντα και τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση τους. Οι ετικέτες αυτές είναι δυνατόν να διαβαστούν από μεγάλη απόσταση χωρίς να είναι απαραίτητη η οπτική επαφή του αναγνώστη. Διάφοροι τύποι συστημάτων RFID είναι διαθέσιμοι στην αγορά και ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη περιοχή συχνοτήτων ταξινομούνται ως εξής.

- 1) Χαμηλής συχνότητας (30 KHz έως 500 KHz)
- 2) Μεσαίας συχνότητας (900KHz έως 1500MHz)
- 3) Υψηλής συχνότητας (2.4GHz έως 2.5GHz)

Υπάρχουν επομένως διάφορες συχνότητες μέσω των οποίων οι ετικέτες RFID μπορούν να επικοινωνούν με τους διάφορους αναγνώστες. Επίσης, υπάρχουν διαφορές μεταξύ των επιδόσεων, του κόστους και των απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής. Για παράδειγμα, οι χαμηλής συχνότητας ετικέτες είναι αρκετά φθηνότερες από εκείνες της εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (Ultra-High Frequency - UHF), οι οποίες χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και είναι προτιμότερη η εφαρμογή τους σε μη μεταλλικά υλικά.

Η μεταφορά δεδομένων είναι ταχύτερη ιδιαίτερα σε εξαιρετικά υψηλές συχνότητες, παράλληλα όμως απαιτείται η κατανάλωση περισσότερης ενέργειας προκειμένου να διαπεράσουν υλικά εμπόδια. Έτσι, οι ετικέτες υψηλής συχνότητας συνήθως χρησιμοποιούνται σε υλικά όπως είναι το ξύλο, το χαρτί και το χαρτόνι ή ύφασμα.



Εικόνα 7: Εφαρμογή της τεχνολογίας RFID μέσω δικτύου ενέργειας, Πηγή:[19]

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω Εικόνα 7, η εν λόγω τεχνολογία βοηθά στην και στην άμεση διασύνδεση του ενεργειακού δικτύου με τις συσκευές των καταναλωτών και των προμηθευτών. Επομένως, μέσω του δικτύου ενέργειας και της τεχνολογίας RFID μεταφέρονται πληροφορίες που αφορούν την ζήτηση αλλά και την κατανάλωση (RFID over Power Line).

Η τεχνική έξυπνης μέτρησης, η οποία βασίζεται στην τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων, χρησιμοποιείται για την αμφίδρομη σχέση επικοινωνίας μεταξύ των προμηθευτών και των καταναλωτών. Μπορεί έτσι να συλλέξει πληροφορία η οποία αφορά την μέγιστη ζήτηση, το μέσο φορτίο, τον συντελεστή ισχύος, τις περιόδους ανάγκης αλλά και την αυτοματοποιημένη διαδικασία χρέωσης. Το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας του καταναλωτή καταγράφεται από τους έξυπνους μετρητές στα τερματικά τους σημεία και οι ετικέτες RFID, που αναφέρθηκαν παραπάνω, τοποθετούνται αναλόγως.

3.3.2 Ασύρματες τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας

3.3.2.1 WiMAX

Το WiMAX είναι η τεχνολογία εκείνη που, όπως και το Wi-Fi, επιτρέπει την σύνδεση και δικτύωση διαφορετικών συσκευών στο διαδίκτυο. Η ειδοποίησή διαφορά τους είναι ότι το πρώτο έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος κάλυψης που φτάνει τα 35 χιλιόμετρα σε σχέση με το Wi-Fi, του οποίου η εμβέλεια αγγίζει τα 100 περίπου μέτρα. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι το εύρος της τεχνολογίας WiMAX είναι ικανό να καλύψει μια ολόκληρη πόλη. Τα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι:

1. Η ευκολία εγκατάστασης, δίχως την χρήση καλωδίων η οποία θα προϋπέθετε αρκετό χρόνο.
2. Άμεση και ποιοτικά εύχρηστη (τεχνολογία) για την καθημερινότητα.
3. Τεράστια κάλυψη και εμβέλεια ακόμη και σε μέρη πιο απομακρυσμένα.
4. Ταυτόχρονη εξυπηρέτηση σύνδεσης μεγάλου πλήθους συνδρομητών.
5. Ομαλότητα στην επικοινωνία και υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.

3.3.2.2 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος (Wireless Mesh Network - WMN), είναι μια μορφή δικτύων, των οποίων οι κόμβοι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους και οργανώνονται σε τοπολογία πλέγματος.

Η γενικότερη εικόνα της υποδομής δικτύωσης είναι απλή, υπό την έννοια ότι κάθε κόμβος οφείλει να «επικοινωνεί» αποκλειστικά με τον επόμενο κόμβο μέσω δυναμικής δρομολόγησης. Έτσι, με μια ήδη υπάρχουσα τεχνολογία χαμηλού κόστους είναι εφικτή η σύνδεση μιας αρκετά μεγάλης περιοχής (χωριό, πόλη κλπ.). Η εύκολη εγκατάσταση υποδομής, η μηδενική χρήση καλωδίων και η χρήση των βέλτιστων διαδρομών μεταφοράς σήματος είναι ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των ασυρμάτων δικτύων πλέγματος. Αντιθέτως, σαν μειονέκτημα τους μπορεί να θεωρηθεί η στατική τους τοπολογία που εξυπηρετεί την διανομή των δεδομένων στους προορισμούς τους και διευκολύνει τον υπολογισμό των βέλτιστων διαδρομών μεταφοράς.

3.3.2.3 Κυψελωτές επικοινωνίες (Cellular Network)

Τα κυψελωτά δίκτυα πρωτοεμφανίστηκαν στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και έχουν ως βασική τους αρχή την διάσπαση της περιοχής κάλυψης σε μικρότερα τμήματα-περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως κυψέλες. Παρότι η μορφή των δικτύων αυτών εξαρτάται αρκετά από την μορφολογία του εδάφους, έχει καθιερωθεί η χρήση του σχήματος της κυψέλης (εξαγωνικής μορφής) ως βάση για τον σχεδιασμό τους.

Η εκάστοτε κυψέλη μπορεί να χρησιμοποιεί ένα σύνολο συχνοτήτων με σκοπό την χρήση του δικτύου από πολλούς συνδρομητές ταυτοχρόνως. Έτσι τα δίκτυα αυτά μπορούν να χρησιμεύσουν για επικοινωνία μεταξύ διαφόρων συσκευών του ίδιου έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Μεταξύ άλλων, γνωστές υπάρχουσες τεχνολογίες της εν λόγω επικοινωνίας είναι τα 2G, 3G και 4G. Τα δίκτυα αυτά διακρίνονται για την ευρείας περιοχής κάλυψη τους, την μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων αλλά και την απαραίτητη ασφάλεια μέσω της χρήσης κατάλληλων αλγορίθμων κρυπτογράφησης.

3.3.2.4 Δορυφορικές επικοινωνίες

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι εκείνες οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες μετάδοσης σημαντικά μεγάλων αποστάσεων (ραδιοφωνική, τηλεοπτική κλπ.) και αποτελούν μια από τις προτιμότερες επιλογές ελέγχου και παρακολούθησης απομακρυσμένων και δυσπρόσιτων περιοχών παρέχοντας παγκόσμια εμβέλεια με εύκολη και ευέλικτη εγκατάσταση καθώς και σχετικά χαμηλό κόστος.

Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι δεν είναι ιδιαίτερα ευάλωτες και εκτεθειμένες στο φυσικό περιβάλλον και τις καταστροφές συμβαίνουν σε αυτό, ενώ σαν βασικό τους μειονέκτημα έχουν την μεγαλύτερη καθυστέρηση σήματος σε σχέση με αυτή μιας επίγειας υποδομής.

3.3.2.5 Ψηφιακές μικροκυματικές επικοινωνίες

Η τεχνολογία των ψηφιακών μικροκυματικών επικοινωνιών (Digital Microwave) λειτουργεί στην ζώνη από 1 έως 300GHz και είναι σε θέση να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως και 170Mbps. Η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να καλύψει εύρος αρκετά μεγάλων αποστάσεων, έως και περίπου 70 χιλιόμετρα. Λαμβάνει δεδομένα συνήθως μέσω ενός δικτύου Ethernet και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα με σκοπό την υποστήριξη της επικοινωνίας τύπου σημείο προς σημείο (point to point). Ως μειονέκτημα μπορεί να αναφερθεί η ανάγκη ύπαρξης απευθείας οπτικής επαφής πομπού και δέκτη αλλά και ότι επηρεάζονται σημαντικά από καιρικά φαινόμενα όπως η βροχή και το χιόνι.

3.4 Ενσύρματες τεχνολογίες

3.4.1 Οπτικές ίνες

Γνωρίζοντας ότι το ταχύτερο από την αρχαιότητα κίολας μέσο επικοινωνίας ήταν και φυσικά παραμένει το φως και δεδομένου ότι στην εποχή μας η μετάδοση πληροφοριών αποτελεί μια ιδιαίτερα επιτακτική ανάγκη, δημιουργήθηκαν οι οπτικές ίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνότερα για την δικτύωση μεγάλων αποστάσεων (Wide Area Network - WAN).

Οπτικές ίνες ονομάζονται τα νήματα κατασκευασμένα από γυαλί που επιτρέπουν από το εσωτερικό τους την μετάδοση φωτός και συναντώνται συνήθως ως δεσμίδες που αποτελούν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Η δομή των οπτικών αυτών καλωδίων απαρτίζεται από τον πυρήνα και τις δύο επενδύσεις (εσωτερική και εξωτερική). Τέλος, το σύνολο των καλωδίων αυτών αποτελεί το δίκτυο οπτικών ινών με βασικά πλεονεκτήματα αυτά της υψηλής διαθεσιμότητας, των ελάχιστων απαιτήσεων ενέργειας και του χαμηλού κόστους.

3.4.2 Επικοινωνία μέσω ενεργειακού δικτύου

Ο τύπος αυτής της επικοινωνίας δίνει την δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των διαφόρων συσκευών μέσω των ηλεκτρικών γραμμών. Η τεχνολογία επικοινωνίας μέσω του ενεργειακού δικτύου (Power line communication - PLC) εφαρμόζεται με την μετάδοση ενός κατάλληλα διαμορφωμένου σήματος πάνω από τα ήδη υπάρχοντα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθώς και η απόσταση μετάδοσης ποικίλουν αρκετά καθώς οι υψηλότεροι ρυθμοί είναι εφικτοί σε μικρότερες αποστάσεις.

Γενικότερα, στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο η τεχνολογία PLC χρησιμοποιείται κυρίως σε επίπεδο γειτνίασης αλλά και σε τοπικό επίπεδο (Neighborhood Area Network /Local Area Network) στα οποία υλοποιούνται οι συνδέσεις μεταξύ των έξυπνων μετρητών, συσκευών και δικτυακού εξοπλισμού. Τέλος, το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι το μικρό κόστος εγκατάστασής της, δεδομένης της ευρείας και ήδη εγκαταστημένης υποδομής του ενεργειακού δικτύου.

3.4.3 Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή

Η ψηφιακή γραμμή συνδρομητή (Digital Subscriber Line - DSL), είναι μια τεχνολογία τηλεπικοινωνίας, η οποία χρησιμοποιεί τις τηλεφωνικές γραμμές για την μεταφορά δεδομένων. Συχνά χρησιμοποιείται για την διασύνδεση μεταξύ των παρόχων και των καταναλωτών σε τοπικό επίπεδο (κτίρια, πανεπιστημιούπολεις κλπ.).

Η πιο σημαντική μορφή της εν λόγω τεχνολογίας είναι η ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Asymmetric DSL - ADSL) και αποτελεί την πλέον γνωστή τεχνολογία πρόσβασης στο διαδίκτυο. Μέσω της τεχνολογίας αυτής δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να έχει ταυτόχρονη μεταφορά φωνής και δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής. Άλλες μορφές (xDSL) αυτής της τεχνολογίας είναι: High bit-rate DSL (HDSL), Symmetric DSL (SDSL), Very high bit-rate DSL (VDSL), Multirate Symmetric DSL (MSDSL), Rate Adaptive DSL (RADSL) και ISDN DSL (IDSL).

Όπως είναι φανερό η έννοια και ο ρόλος της επικοινωνίας και της ανταλλαγής πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας στην σημερινή εποχή, τόσο για τους ανθρώπους αλλά ακόμα και για τις συσκευές τις ίδιες. Βαδίζουμε σε μια εποχή όπου άνθρωποι και συσκευές θα συνυπάρχουν, θα συνεργάζονται και κυρίως θα ανταλλάσσουν δεδομένα και πληροφορίες στο πλαίσιο των παραπάνω ενσύρματων ή μη τεχνολογιών και θα αλληλεπιδρούν ανεξαρτήτως μεγέθους και αποστάσεων. Μια εποχή όπου το διαδίκτυο των ανθρώπων θα γίνει και Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Κεφάλαιο 4 – Έξυπνα και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια και αστικές δομές

4.1 Βασικές έννοιες – Γενικά Χαρακτηριστικά

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία των πληροφοριών και των επικοινωνιών (ΤΠΕ) έχουν δρομολογήσει την ανάπτυξη ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου και παράλληλα την δημιουργία έξυπνων κτιρίων. Στην σημερινή εποχή, τα κτίρια καταναλώνουν αρκετά μεγάλο μέρος της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας της παγκόσμιας παραγωγής και επομένως για την πλήρη ανάπτυξη ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου οφείλουν να ενσωματωθούν στο δίκτυο αυτό. Τα νέα αυτά κτίρια μπορούν να χαρακτηριστούν «καταναλωτές» στο ενεργειακό αυτό δίκτυο.

Η συνεχόμενη ανάπτυξη της καταναλωμένης παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιουργεί νέες προκλήσεις που σχετίζονται με την σταθερότητα του δικτύου τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα. Συνεπώς, τα κτίρια μπορούν να συμβάλουν στη σταθερότητα του δικτύου, διαχειριζόμενα από μόνα τους την συνολική κατανάλωση τους, σε απάντηση των τρεχουσών συνθηκών.

Επομένως, βασικής σημασίας είναι η εξισορρόπηση της ζήτησης από τους παρόχους διατηρώντας ταυτόχρονα ομαλές τις κτιριακές λειτουργίες. Για παράδειγμα, η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας μέσα σε ένα κατοικήσιμο κτίριο απαιτεί την δαπάνη ενέργειας και επομένως, μια όσο το δυνατόν βέλτιστη λύση που να μπορεί να ανταποκρίνεται και να ισορροπεί ιδανικά την ενεργειακή χρήση με την εσωτερική ποιότητα του περιβάλλοντος (θερμική άνεση, φωτισμός κλπ.).

Η επιτυχημένη αυτή ενσωμάτωση των κτιρίων και των συστημάτων τους στο ενεργειακό δίκτυο απαιτεί και προϋποθέτει μία λειτουργική και αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών. Ωστόσο, η εισαγωγή και η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών ελέγχου και επικοινωνιών στα κτίρια μπορεί να αποβεί αναποτελεσματική ή προβληματική λόγω της μη συμβατότητας των παλαιότερων συστημάτων και εξοπλισμών των κτιρίων.

Όπως το Διαδίκτυο, έτσι και το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο αποτελείται από υπολογιστές, αυτοματοποιήσεις, νέες τεχνολογίες, έξυπνα κτίρια και ενεργειακό εξοπλισμό τα οποία εργάζονται προς την ίδια κατεύθυνση, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση οι τεχνολογίες αυτές λειτουργούν στο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο ανταποκρίνεται στις γρήγορα μεταβαλλόμενες ενεργειακές απαιτήσεις των χρηστών. Επομένως, τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα δημιουργούν μία εξαιρετική ευκαιρία για την υποστήριξη της ανάπτυξης έξυπνων/μηδενικής ενέργειας κτιρίων και κοινοτήτων και προσφέρουν ένα πρώτο βήμα προς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων [33].

Τα ενεργειακά δίκτυα δείχνουν τον δρόμο σε νέες εφαρμογές με ευρύτερη εμβέλεια όπως είναι η παροχή ασφαλούς ενσωμάτωσης όσων γίνεται περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έξυπνων κτιρίων καθώς και γεννητριών στο δίκτυο. Βασικός γνώμονας για αυτή την ενσωμάτωση είναι η ζήτηση των καταναλωτών και η συνεχής παρακολούθηση του δικτύου για την έγκαιρη και ορθή πρόληψη και αποκατάσταση κάθε κινδύνου ή βλάβης στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Έτσι δίνεται και στους καταναλωτές ο η δυνατότητα ενεργής συμμετοχής και ρόλου σε όλα τα θέματα που αφορούν την αγορά και την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας [34].

Συνεπώς, με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα αφορούν και υπόσχονται μια πληθώρα εξελίξεων και πλεονεκτημάτων σε διάφορους τομείς όπως το περιβάλλον, την βελτίωση του ρόλου του καταναλωτή, το ήδη υπάρχον δίκτυο και την οικονομία. Συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα και οι ιδιότητες των έξυπνων ενεργειακών δικτύων είναι οι εξής:

- **Αξιοπιστία**

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο χαρακτηρίζεται από την δυνατότητα του να εντοπίζει και να απομονώνει τα πιθανά προβλήματα ή βλάβες με σκοπό την ελάχιστη απώλεια ενέργειας. Η ικανότητα του δικτύου να αυτοθεραπεύεται στον ελάχιστο δυνατό χρόνο και να εντοπίζει επιθέσεις ή διαταραχές το χαρακτηρίζουν ως αξιόπιστο και ανθεκτικό.

- **Ποιότητα της ενέργειας**

Βασική έννοια και αλληλένδετη με την έννοια της αξιοπιστίας, είναι και η παροχή υψηλής ποιότητας ενέργειας. Η συνεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος του δικτύου ως προς την ποιότητα της ενέργειας απαιτείται τόσο για την εξυπηρέτηση των πολλών και διαφορετικών καταναλωτικών αναγκών αλλά και για την έγκαιρη διάγνωση αλλοίωσης της ποιότητας αυτής λόγω βλαβών ή φυσικών καταστροφών.

- **Αποδοτικότητα**

Το δίκτυο οφείλει να διαχειρίζεται και να χρησιμοποιεί με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο τους πόρους που διαθέτει, ώστε να μπορεί να κατευθύνει αποτελεσματικά της διπλής κατεύθυνσης ροές ενέργειας και δεδομένων με την ελάχιστη χρήση πρόσθετων υποδομών.

- **Ενσωμάτωση και εξέλιξη του ενεργού ρόλου του καταναλωτή**

Βασικό χαρακτηριστικό του ενεργειακού δικτύου όπως αναφέρθηκε είναι η ενσωμάτωση του καταναλωτή ως βασικό και ενεργό μέρος του δικτύου. Αυτό πραγματοποιείται με τις δυνατότητες που του δίνει το δίκτυο, να ελέγχει, να

παρακολουθεί, να επεξεργάζεται και να ανταλλάζει δεδομένα και πληροφορίες με τον πάροχο του. Επομένως, οι καταναλωτές είναι ικανοί να προσαρμόζουν τις συνήθειες, τις ανάγκες και γενικότερα την καθημερινότητά τους βάσει των οικολογικών και κυρίως των οικονομικών τους κινήτρων. Παράλληλα, η καταναλωτική αυτή στάση αποτελεί την βάση της εξισορρόπησης της προσφοράς και της ζήτησης της ενέργειας.

- **Φιλικό προς το περιβάλλον**

Τέλος, από την εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέχρι την αποφυγή ενεργοποίησης μονάδων και πόρων μεγάλου περιβαλλοντικού κόστους, έχουμε σαν αποτέλεσμα το γεγονός ότι το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο θα χαρακτηρίζεται από «πράσινη» συμπεριφορά συμβάλλοντας έτσι, στην μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος και στην σημαντική περιβαλλοντική εξέλιξη.

Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα, όπως συμπεραίνεται, μπορούν να αποτελέσουν μια ορθή και σύγχρονη αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου που αποσκοπεί στην βέλτιστη απόδοση και αξιοπιστία του μέσω σύγχρονων τεχνολογιών ανίχνευσης και ελέγχου, μέτρησης και υπολογισμού, διαχείρισης και παροχής της ενέργειας καθώς και σύγχρονων υποδομών επικοινωνίας. Οι τεχνολογίες μέτρησης και αποθήκευσης, οι ενέργειες υπολογισμού και απόκρισης της ζήτησης καθώς και ο απαραίτητος πληροφορικός εξοπλισμός και υπηρεσίες είναι τα μέσα και οι τρόποι που οδηγούν στην αναβάθμιση αυτή και χαρακτηρίζουν ένα ενεργειακό δίκτυο πλήρως λειτουργικό. Ο ρόλος των καταναλωτών αλλά και των έξυπνων κτιρίων στο πλαίσιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικός [35].

4.2 Έξυπνες συσκευές

1. Έξυπνοι μετρητές (Smart Meters)

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα από τα βασικότερα μέσα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ παροχής και κατανάλωσης αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές οι οποίοι εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια με στόχο να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν τους ήδη υπάρχοντες μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, πρόκειται για ένα πιο εξελιγμένο είδος ψηφιακών μετρητών με δυνατότητες, διασύνδεσης με έξυπνες οικιακές συσκευές και αισθητήρες, συλλογής και αποθήκευσης δεδομένων χρήσης και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και άμεσης αποστολής των καταναλωτικών δεδομένων αυτών στα κέντρα διαχείρισης των εκάστοτε παρόχων.

Συνεπώς οι έξυπνοι μετρητές λειτουργούν τόσο ως πομπός όσο και ως δέκτης μεταξύ των παρόχων και των καταναλωτών ενημερώνοντας αμφίδρομα και τις δύο πλευρές για την ποσότητα και την ποιότητα της ενέργειας, όσο και δεδομένα που αφορούν την κοστολόγηση και την χρέωση της. Για παράδειγμα, ο καταναλωτής θα μπορεί να ενημερώνεται από τον πάροχο του μέσω e-mail ή μέσω τηλεφωνικών μηνυμάτων για μια

ενδεχόμενη προσφορά στην τιμολόγηση της ενέργειας του ή ακόμα για πιθανές διακοπές ρεύματος στο ενεργειακό δίκτυο. Το βασικό δηλαδή γνώρισμα των έξυπνων μετρητών είναι ότι πραγματοποιούν συνεχώς μετρήσεις λαμβάνοντας υπόψιν τους τις τιμές ρεύματος και τάσης της κατανάλωσης. Ως αποτέλεσμα έχουμε την δημιουργία ψηφιακών δεδομένων πραγματικού χρόνου τα οποία επεξεργάζονται, αποθηκεύονται και μεταδίδονται στο ενεργειακό δίκτυο.

Η εφαρμογή των μετρητών αυτών αναμένεται να προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα και οφέλη τόσο στην παραγωγή, όσο και στην κατανάλωση, γεγονός που κάνει την εγκατάσταση τους απαραίτητη. Εν τέλει, οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν βασικής σημασίας εργαλείο στην εξυπηρέτηση των καταναλωτικών αναγκών, εφόσον δίνουν την δυνατότητα στους καταναλωτές να παρακολουθούν και να ελέγχουν απομακρυσμένα και σε πραγματικό χρόνο, στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση της ενέργειας τους και την κοστολόγηση της.

Οι λειτουργίες που εξυπηρετούν τους καταναλωτές αναφέρονται παρακάτω:

1. Παρέχουν σημαντικές πληροφορίες και δεδομένα αμφίδρομα, τόσο στην πλευρά της παραγωγής όσο και στην πλευρά της κατανάλωσης.
2. Επιτρέπουν αυτόματα την καταγραφή, τη συλλογή και την αποστολή δεδομένων στους καταναλωτές.
3. Αναφέρουν λεπτομερώς τα καταναλωτικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών σε πραγματικό χρόνο.
4. Διευκολύνουν και αναπτύσσουν τις υπηρεσίες που βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση και ενθαρρύνουν στη ορθότερη χρήση της ενέργειας.

Συμπερασματικά, και βάσει των παραπάνω λόγων και λειτουργιών, συμπεραίνουμε την ζωτικής σημασίας χρήση των έξυπνων μετρητών στο ενεργειακό δίκτυο. Δίχως την παρουσία και την συμβολή τους θα ήταν αδύνατο να αναφερόμαστε στην αμφίδρομη σχέση ροών δεδομένων και ενέργειας των καταναλωτών και των παραγωγών, πόσο μάλλον στην ορθή διαλειτουργικότητα του ενεργειακού δικτύου.

2. Έξυπνοι θερμοστάτες

Ο έξυπνος θερμοστάτης είναι το μέσο εκείνο το οποίο λαμβάνει υπόψιν του την θερμοκρασία και την υγρασία του χώρου με σκοπό να διατηρήσει σταθερή την ιδανική (βάσει της επιθυμίας του καταναλωτή) συνολική θερμοκρασία. Οι έξυπνοι θερμοστάτες αποτελούν μια εξαιρετική ενεργειακή λύση και για αυτόν ακριβώς τον λόγο παρατηρείται όλο και περισσότερο η χρήση τους, τόσο στα σπίτια όσο και σε μεγαλύτερα κτίρια. Η εύκολη εγκατάσταση τους αποτελεί βασικό προσόν τους και αυτός είναι ένας από τους λόγους που προτιμώνται. Μερικοί εξίσου σημαντικοί λόγοι χρησιμοποίησής τους παρατίθενται παρακάτω:

- **Εξοικονόμηση χρημάτων**

Ένα από τα βασικά πλεονέκτημα των έξυπνων θερμοστατών είναι η εξοικονόμηση χρημάτων. Με την σωστή χρήση και διαχείριση της ενέργειας τόσο σε περιόδους αιχμής αλλά και μη και με την εκμετάλλευση των κατάλληλων προσφορών των παρόχων ενέργειας, οι καταναλωτές μπορούν εύκολα να εξοικονομήσουν χρήματα.

- **Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης**

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, με την σωστή χρήση των θερμοστατών μπορεί να επιτευχθεί πέρα από σωστή διαχείριση και εξοικονόμηση χρημάτων, η διατήρηση της ενεργειακής απόδοσης της οικίας ή του κτιρίου με σκοπό την μικρότερη δυνατή φθορά των ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων που χρησιμοποιούνται. Όπως θα αναλυθεί σε μετέπειτα κεφάλαιο, ο πλανήτης πρόκειται να αντιμετωπίσει ελλείψεις ενέργειας μελλοντικά, οπότε είναι ιδιαίτερα σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας στην προστασία του περιβάλλοντος και στην μείωση του οικολογικού αποτυπώματος.

- **Ευχρηστία και άνεση**

Βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων θερμοστατών είναι η εύκολη και ευέλικτη απομακρυσμένη χρήση τους καθώς και ο μικρός χρόνος ανταπόκρισης τους. Με την χρήση των έξυπνων τηλεφώνων ή ρολογιών ο καταναλωτής μπορεί να ρυθμίσει την θερμοκρασία του χώρου του σε πραγματικό χρόνο χωρίς να απαιτείται η φυσική του παρουσία. Για παράδειγμα, με την δημιουργία των εκάστοτε προφίλ που αντιστοιχούν σε κάποια καταναλωτική ενέργεια ή δραστηριότητα, ο χρήστης μπορεί να μειώσει, να αυξήσει ή ακόμα και να απενεργοποιήσει την χρήση του έξυπνου θερμοστάτη. Περισσότερα για την δημιουργία και την χρήση των προφίλ αυτών θα αναλυθούν στην ενότητα των έξυπνων ενεργειακών σπιτιών.

3. Έξυπνα τηλέφωνα (Smartphones)

Μέσα σε μία αξιοσημείωτα σύντομη χρονική περίοδο, το διαδίκτυο και οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας έχουν αποτελέσει ένα σημαντικό κομμάτι της καθημερινότητας της πλειοψηφίας των ανθρώπων παγκοσμίως. Σύμφωνα με στοιχεία του 2016 υπάρχουν σχεδόν 2.5 δισεκατομμύρια χρήστες διαδικτύου, δηλαδή περίπου το 35% του παγκόσμιου πληθυσμού. Τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones) είναι πλέον αναγκαίες συσκευές καθημερινής χρήσης σχεδόν σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με σχετικές τεχνικές αναφορές, το 2003 υπήρχαν 1 δισεκατομμύριο χρήστες (ένας στους έξι περίπου) ενώ το 2013 ο αριθμός αυτός υπολογίστηκε στα 3.4 δισεκατομμύρια χρήστες.

Μέχρι το 2021, το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού (56%) αναμένεται να είναι κάτοχοι έξυπνων κινητών τηλεφώνων [15].

Οι έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών μπορούν να συντελέσουν στην επίτευξη οικονομικότερης ενεργειακής χρήσης. Συνδέοντας τα έξυπνα τηλέφωνα με ψηφιακούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πλέον δυνατή η επεξεργασία και η ανατροφοδότηση των δεδομένων κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ειδικά για την οικιακή χρήση και κατανάλωση. Η ενεργή συμμετοχή των χρηστών τους δίνει την δυνατότητα να ενημερώνονται με πληροφορίες και δεδομένα που αφορούν την προσωπική τους καταναλωτική συμπεριφορά και να την βελτιστοποιούν εξοικονομώντας ενέργεια [16].

Η οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς αυξάνεται και αντιπροσωπεύει το 1/3 περίπου της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ευρώπη. Πολλοί καταναλωτές ενδιαφέρονται για την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά δεν διαθέτουν πληροφορίες σχετικές με την κατανάλωσή τους. Πράγματι, η ανατροφοδότηση που αναφέρεται και σχετίζεται με τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος των νοικοκυριών παρέχεται συχνά με μηνιαίες ή ετήσιες χρεώσεις των λογαριασμών κοινής ωφέλειας και συνεπώς παραμένει αδιαφανής για την πλειονότητα των νοικοκυριών. Λίγοι καταναλωτές γνωρίζουν πλήρως το ποσό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής τους ενέργειας και ακόμη λιγότεροι έχουν γνώση και έλεγχο για το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν σε καθημερινή βάση για κάθε συγκεκριμένο ή μη λόγο (π.χ. φωτισμός, θέρμανση κλπ.). Ακόμη και εκείνοι οι οποίοι έχουν γνώση της κατανάλωσής τους, σπανίως λαμβάνουν σχετική καθοδήγηση ή πληροφόρηση που να αναφέρεται σε μικρές ή μεγάλες αλλαγές που θα είχαν αντίκτυπο στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών οφείλουν να συμβάλλουν στην αποσαφήνιση των στοιχείων κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, οι ψηφιακοί έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν, όπως ήδη αναφέρθηκε την συλλογή, την επεξεργασία και την ανταλλαγή λεπτομερών πληροφοριών που αφορούν την κατανάλωση και την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συχνές χρονικές περιόδους (π.χ. μία φορά το δευτερόλεπτο).

Το πανεπιστήμιο ETH της Ζυρίχης (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) στην Ελβετία και μέσω του έργου e-Meter συνέδεσε τους έξυπνους μετρητές με τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα [16]. Καθώς τα έξυπνα τηλέφωνα είναι σχεδόν πάντα συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, η χρήση τους για την απεικόνιση της κατανάλωσης ρεύματος εξαλείφει την ανάγκη για την εγκατάσταση οθονών στα σπίτια. Έτσι μέσω της σύνδεσης αυτής, των έξυπνων κινητών με τους ψηφιακούς μετρητές, παρέχονται στους καταναλωτές πληροφορίες που αφορούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής τους ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Η προσεκτικά σχεδιασμένη διεπαφή χρήστη-παρόχου υλοποιείται ως μία εφαρμογή κινητής τηλεφωνίας σε γνωστές πλατφόρμες όπως: Android, iOS και Windows [16].

4. Έξυπνα ρολόγια (Smartwatches)

Πέραν όμως των έξυπνων τηλεφώνων μια νέα έξυπνη καινοτομία έχει κατασκευαστεί με σκοπό επίσης να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των καταναλωτών. Ο λόγος φυσικά για τα «έξυπνα» ρολόγια ή smartwatches τα οποία αποτελούν μια διαφορετική επιλογή.

Σε ορισμένα έξυπνα ρολόγια η σύνδεση με έξυπνο τηλέφωνο δεν απαιτείται, κάτι που σημαίνει ότι εν ολίγοις το ρολόι είναι σε θέση να χαρακτηριστεί και να αποτελεί ένα μικρού μεγέθους και λιγότερων δυνατοτήτων έξυπνο τηλέφωνο. Έτσι, όπως και τα έξυπνα τηλέφωνα, τα έξυπνα ρολόγια μπορούν να δέχονται ειδοποιήσεις και κλήσεις από τους εκάστοτε παρόχους ενέργειας, να συνδέονται με το διαδίκτυο και να ενεργοποιούν αυτόματα ή προγραμματισμένα τις διάφορες έξυπνες οικιακές συσκευές (πχ συναγερμοί, έξυπνοι θερμοστάτες, έξυπνα οχήματα κλπ.), ενώ ακόμη μπορούν να αντικαταστήσουν τις τραπεζικές κάρτες εφόσον ο χρήστης-φορέας μπορεί με μια κίνηση του καρπού του να πληρώσει ανέπαφα τις αγορές του. Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο η χρήση των έξυπνων ρολογιών επεκτείνεται και πέρα από τον τομέα της επικοινωνίας, σε τομείς όπως είναι η υγεία και η άθληση.

5. Έξυπνα οχήματα

Η σύνδεση των έξυπνων οχημάτων με το διαδίκτυο, αλλά και η συνεχής εξέλιξη με την ανάπτυξη σχετικών εφαρμογών του διαδικτύου των πραγμάτων οδηγεί σε βελτιώσεις στον χώρο των μεταφορών.

Τα έξυπνα οχήματα μέσω της χρήσης των έξυπνων τηλεφώνων και ρολογιών παρέχουν λειτουργίες όπως:

1. Πλοήγηση (navigation) κατά την οδήγηση και χρήση της τοποθεσίας μέσω κατάλληλων εφαρμογών.
2. Ενημέρωση για τον υπολειπόμενο χρόνο άφιξης στον προορισμό αλλά και την κυκλοφοριακή συμφόρηση.
3. Επικοινωνία μέσω της χρήσης Bluetooth του έξυπνου τηλεφώνου ή ρολογιού.
4. Αυτόματη ενημέρωση της οδικής βοήθειας και της ασφαλιστικής εταιρείας σε περίπτωση βλάβης ή ατυχήματος.
5. Ψυχαγωγία μέσω των ασύρματων τεχνολογιών και εφαρμογών που διαθέτουν.
6. Σημαντική επίδραση στην μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος, λόγω της απελευθέρωσης λιγότερων ρίπων στο περιβάλλον.

Στο μέλλον αναμένεται ότι τα έξυπνα αυτοκίνητα, λόγω της ορθής οικολογικά χρήσης τους, θα επικρατήσουν πλήρως ενώ θα κινούνται δίχως την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Βασικό πρωτοποριακό παράδειγμα «έξυπνης μεταφοράς» συναντάται στην πόλη των Τρικάλων όπου αυτόματα έξυπνα λεωφορεία συμβάλουν στην μεταφορά των πολιτών κατά μήκος όλης της πόλης.

4.3 Έξυπνο ενεργειακό σπίτι

Οι σημερινοί έντονοι ρυθμοί της κοινωνίας της πληροφορίας γεννούν συνέχεια νέες ανάγκες και υπηρεσίες γύρω από την έννοια της ποιοτικής ζωής. Το έξυπνο ενεργειακό σπίτι αποτελεί έναν από τους βασικότερους λόγους για την μελλοντική βελτίωση της ποιότητας αυτής αλλά και ταυτόχρονα της ορθής διαχείρισης της οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης. Οι βασικοί λόγοι δημιουργίας ενός τέτοιου σπιτιού είναι οι εξής:

- **Ασφάλεια**

Πρώτος και βασικός λόγος μετατροπής ενός σπιτιού σε έξυπνο, είναι η προσωπική και οικογενειακή ασφάλεια. Στην σημερινή εποχή όπου οι κίνδυνοι της καθημερινότητας είναι ιδιαίτερα μεγάλοι και πολλοί, το έξυπνο σπίτι έχει ορισμένες λειτουργίες και μηχανισμούς για την αντιμετώπιση τους όπως παρατίθενται παρακάτω:

1. Μηχανισμός ειδοποίησης στις περιπτώσεις κλοπής ή διάρρηξης της οικίας και αυτόματη άμεση ενημέρωση, μέσω των έξυπνων προσωπικών συσκευών (έξυπνα κινητά τηλέφωνα, ρολόγια κλπ.) των μελών του σπιτιού και των κατάλληλων αρχών.
2. Μηχανισμός ελέγχου του συστήματος σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών (σεισμοί, πυρκαγιές κλπ.).
3. Συνεχής εικοσιτετράωρη παρακολούθηση της οικίας μέσω δικτύου καμερών και απαραίτητες ενέργειες ανάλογα με τις συνθήκες, όπως για παράδειγμα η αυτόματη φωταγώγηση του προαύλιου χώρου κατά την δύση του ήλιου.

- **Οικονομία**

Η έννοια του έξυπνου ενεργειακού σπιτιού εμπεριέχει την έννοια της οικονομίας, η οποία βασίζεται σε ένα πλήθος ενεργειών όπως:

1. Χρήση και εκμετάλλευση των ηλεκτρικών συσκευών ορθολογικά όπου και όποτε απαιτείται ελαχιστοποιώντας έτσι το συνολικό κόστος λειτουργίας.
2. Η σωστή και κατάλληλη χρήση των διαθέσιμων αυτοματισμών (θέρμανσης, φωτισμού κ.α.) κυρίως, όταν οι καταναλωτές απουσιάζουν από την οικία.
3. Χρήση των απαραίτητων συσκευών με απομακρυσμένη χρήση (έξυπνα τηλέφωνα, ταμπλέτες κλπ.) ανάλογα με την προσφορά και την ζήτηση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που η αρμόδια εταιρεία παροχής ενέργειας έχει μια προσφορά ρεύματος σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, έναρξη της λειτουργίας των πλυντηρίων-στεγνωτηρίων κατά την περίοδο αυτή.

- **Ποιοτική άνεση**

Τέλος, ο κάθε καταναλωτής είναι σε θέση να απολαμβάνει διάφορες και διαφορετικού τύπου ανέσεις μέσω της φυσικής του παρουσίας ή μέσω του έξυπνου κινητού τηλεφώνου/ρολογιού του ή ακόμα και με την χρήση της φωνής του. Επομένως, ο χρήστης έχει τον πλήρη έλεγχο της λειτουργίας της οικίας του τόσο όταν βρίσκεται εντός αλλά και όταν βρίσκεται εκτός οικίας. Πιο συγκεκριμένα ο καταναλωτής μπορεί να δημιουργεί και να εναλλάσσει τα διάφορα προφίλ που ο ίδιος δημιουργεί ανάλογα με τις συνθήκες που επιθυμεί. Μερικά από τα προφίλ αυτά είναι:

1. «Γυρίζω σπίτι»: Σύμφωνα με το οποίο ο καταναλωτής μπορεί να το επιλέξει και να το ενεργοποιήσει καθοδόν για την οικία του με σκοπό να ρυθμίσει την θέρμανση στους βαθμούς που επιθυμεί, να ανοίξει το θερμοσίφωνο ή ακόμα και την πόρτα του γκαράζ του.
2. «Ύπνος»: Ο χρήστης κάνει χρήση του συγκεκριμένου προφίλ κατά τις νυχτερινές ώρες ύπνου με σκοπό να έχει συγκεκριμένη σταθερή θερμοκρασία εντός της οικίας, ενεργοποιημένους συναγερμούς και κατάλληλο αυτοματοποιημένο σύστημα φωτισμού στους προαύλιους χώρους.
3. «Οικονομικό»: Βάσει του οποίου, ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιεί ή να απενεργοποιεί τις ηλεκτρικές συσκευές της επιλογής του, τις ώρες εκείνες που ο πάροχος του, του προσφέρει μείωση στο ενεργειακό του κόστος.
4. «Καλημέρα»: Σύμφωνα με το προφίλ αυτό, ο χρήστης είναι σε θέση να έχει έτοιμο τον καφέ του στην έξυπνη καφετιέρα του η οποία μέσω σύνδεσης στο ίδιο δίκτυο, έχει κυριολεκτικά επικοινωνήσει με το έξυπνο ρολόι το οποίο αφύπνισε τον χρήστη (μέσω ξυπνητηριού).

Συμπερασματικά, τα ενεργειακά σπίτια αποτελούν μια νέα προσέγγιση οικιακού περιβάλλοντος, η οποία δεν μοιάζει σε τίποτα τις υφιστάμενες συμβατικές οικιακές εγκαταστάσεις. Συνεπώς, ο όρος «έξυπνο ενεργειακό σπίτι» δεν χαρακτηρίζει μόνο την ανάπτυξη μεμονωμένων ηλεκτρικών συσκευών αλλά αντίθετα είναι ένα συνονθύλευμα εξέλιξης πολλών και διαφορετικών συστημάτων, συσκευών και τεχνολογιών που σκοπεύουν τόσο στην εξυπηρέτηση των καταναλωτικών αναγκών όπως είδαμε, αλλά κυρίως στην μέγιστη δυνατή ορθολογική διαχείριση της οικιακής ενέργειας.

4.4 Έξυπνα μηδενικής ενέργειας κτίρια

Η καταναλισκόμενη ενέργεια των κτιρίων ισούται περίπου με το μισό της συνολικής παγκόσμιας ενέργειας. Έτσι, γεγονός αποτελεί ότι οι αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας

των κτιρίων μπορούν να επιφέρουν μία σημαντικού μεγέθους εξοικονόμηση ενέργειας ελαχιστοποιώντας το αποτύπωμα άνθρακα [36].

Ακόμη, μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα θεωρία που πρόκειται να αναπτυχθεί στο μέλλον είναι ότι τα ενεργειακά κτίρια θα είναι ικανά να καταναλώνουν πλήρως (ή σχεδόν πλήρως) τα επίπεδα ενέργειας που παράγουν, δηλαδή πρόκειται να υπάρχουν μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενέργειας κτίρια (Zero Energy Buildings - ZEBs) [37]. Αυτή είναι μία έννοια η οποία βασίζεται στο γεγονός ότι έως τα τέλη του 2020, όλα τα κτίρια οφείλουν να έχουν μηδενική ή σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Αρχική εφαρμογή αυτής της λογικής θα πραγματοποιηθεί σε κτίρια που θα χρησιμοποιούνται και θα ανήκουν στις δημόσιες αρχές και επομένως θα οφείλουν να συμμορφώνονται σε αυτού του τύπου τα κριτήρια [38].

Τα μηδενικής ενέργειας κτίρια είναι κτίρια που λειτουργούν και συνεργάζονται με το ενεργειακό δίκτυο και βασικός τους στόχος είναι η ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση της υπάρχουσας υποδομής ρεύματος. Η επίτευξη ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ενέργειας μέσω αποτελεσματικών μέτρων ορθολογικής χρήσης και την μέγιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, περιλαμβάνει μια σειρά από βελτιστοποιημένες και ισορροπημένες δραστηριότητες μεταξύ κατανάλωσης και παραγωγής στα πλαίσια του έξυπνου ενεργειακού δικτύου [39].

Οι τεχνολογίες πληροφοριών και τεχνολογιών επικοινωνίας (ΤΠΕ) και η εφαρμογή των έξυπνων ενεργειακών δικτύων είναι οι έννοιες που μπορούν να οδηγήσουν στην επίτευξη των προαναφερθέντων αυτών ενεργειακών στόχων. Οι τεχνολογίες ΤΠΕ που αφορούν την ενεργειακή διαχείριση των κτιρίων έχουν εξελιχθεί σημαντικά ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και ηγούνται μιας βαθύτερης κατανόησης και αποσαφήνισης της έννοιας των «έξυπνων κτιρίων». Οι βελτιώσεις στον σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας καθώς επίσης και ο έλεγχος των ενεργειακά δομικών στοιχείων έφεραν στην επιφάνεια μία έντονη δυναμική που βασικό σκοπό έχει την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας των ήδη υφισταμένων αλλά και των νέων κατοικιών σε παγκόσμια κλίμακα. Τα έξυπνα κτίρια που τηρούν τις προϋποθέσεις σύνδεσης με τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα πρέπει να συμμορφώνονται στις ακόλουθες απαιτήσεις [40]:

1. Ενσωμάτωση της έξυπνης μέτρησης.
2. Δυνατότητες ανταπόκρισης στη ζήτηση.
3. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική.
4. Διαλειτουργικότητα.

Πέραν όμως των συγκεκριμένων ενεργειακών απαιτήσεων, οι οποίες κρίνονται απαραίτητες στην ορθή λειτουργία των έξυπνων κτιρίων μηδενικής ενέργειας, οι

τρέχουσες ενεργειακές συνθήκες του περιβάλλοντος προϋποθέτουν και μια αλληλουχία εννοιών με την πιο βασική να είναι η ενεργειακή διαχείριση η οποία αναλύεται παρακάτω.

4.4.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας – ενεργειακή διαχείριση

Ενεργειακή διαχείριση ονομάζεται η μέθοδος / τεχνική βελτίωσης της υπάρχουσας ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος, που πρωταρχικό στόχο έχει την ελάχιστη συμμετοχή της ενέργειας στο συνολικό κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος.

Η έννοια αυτή στα πλαίσια των κτιρίων, τα οποία ευθύνονται για το 50% περίπου της συνολικής ενέργειας κατανάλωσης πανευρωπαϊκά, αποτελεί μια οργανωμένη και συστηματική δραστηριότητα που εμπερικλείει ένα ορθά προγραμματισμένο και συντονισμένο σύνολο διοικητικών και οικονομικών κυρίως ενεργειών. Στόχος των ενεργειών αυτών είναι να διασφαλίζεται η παροχή των υπηρεσιών και των καταστάσεων εκείνων που χαρακτηρίζουν ένα περιβάλλον ιδανικό, καθώς και η ευχάριστη παραμονή των ενοίκων στα κτίρια, με την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση χρησιμοποιώντας ορθολογικά τον απαραίτητο ενεργειακό εξοπλισμό. Τα κριτήρια των ενεργειών αυτών είναι:

1. Η οικονομική αποδοτικότητα και αύξηση του κέρδους εφαρμόζοντας μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.
2. Η βέλτιστη ποιότητα και ασφάλεια ζωής στα κτίρια.
3. Η πραγματοποίηση των ιδανικών συνθηκών ενός ποιοτικού περιβάλλοντος.
4. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος του λειτουργικού κόστους.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO50001 που πρωτοεμφανίστηκε το καλοκαίρι του 2011 η ανάγκη για διαχείριση της ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για οικονομικούς, τεχνολογικούς αλλά και για λόγους ασφάλειας. Το πρότυπο αυτό παρέχει την δυνατότητα στις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να αναπτύξουν τεχνικές για την βέλτιστη χρήση της ενέργειας, τον καθορισμό συγκεκριμένων στόχων που σκοπεύουν στην επίτευξη ενεργειακών πολιτικών, στην παρακολούθηση και στην κατανόηση της υπάρχουσας κατάστασης και κατά πόσο μπορεί ή χρειάζεται τροποποιήσεις η υπάρχουσα αυτή κατάσταση. Επίσης, παρέχονται τεχνικές ανάπτυξης σχετικές με τον έλεγχο των δράσεων που αφορούν τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και τέλος την συνεχή εξέλιξη και βελτίωση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής διαχείρισης.

Ένα πλήρες πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης ενός μεμονωμένου κτιρίου ή ενός συνόλου κτιρίων, οφείλει να περιλαμβάνει συχνούς ελέγχους και μετρήσεις στις κτιριακές υποδομές και εγκαταστάσεις, αποσαφήνιση και προσδιορισμό των στόχων της ενεργειακής κατανάλωσης, δημιουργία και συνεχή ενημέρωση ενός αρχείου. Ακόμη, εμπεριέχει τον έλεγχο και την συντήρηση των εγκαταστάσεων, των συστημάτων, των

συσκευών αλλά και των υποδομών, την συνεχή ενημέρωση των υπευθύνων μέσω αναφορών και τέλος, την πλήρη ενημέρωση και εκπαίδευση του προσωπικού αλλά και όλων όσων εμπλέκονται ή σχετίζονται άμεσα με την λειτουργία των εγκαταστάσεων του κτιρίου.

Συμπερασματικά, ένα πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού με συγκεκριμένους στόχους, σκοπούς και αρμοδιότητες που έχουν κοινό παρονομαστή την εξοικονόμηση ενέργειας, την μείωση των λειτουργικών δαπανών, την βελτίωση των συνθηκών που χαρακτηρίζουν ιδανικό και ποιοτικό ένα περιβάλλον και τέλος την προστασία του περιβάλλοντος.

4.5 Έξυπνες ενεργειακές πόλεις

Ο όρος «έξυπνη ενεργειακή πόλη» δημιουργήθηκε για να περιγράψει την κοινωνία της πληροφορίας και της γνώσης και ουσιαστικά αποτελεί και περιγράφει ένα ιδανικό και καινοτόμο τεχνολογικό περιβάλλον το οποίο χρησιμοποιώντας ψηφιακά δίκτυα και εφαρμογές αποσκοπεί:

1. Στην προσφορά ποικίλων υπηρεσιών στους πολίτες.
2. Στην βέλτιστη χρήση πόρων μέσω της ανάλυσης της σχετικής πληροφορίας.
3. Στην εύκολη και συνεχή μετάδοση πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ των συστημάτων και υποσυστημάτων που την απαρτίζουν.

Γενικότερα, κάθε πόλη η οποία είναι ικανή να συνδέσει το δομημένο περιβάλλον της, την τεχνολογία και την πληροφορική με το κοινωνικό της κεφάλαιο και το πολιτικό της πλάνο ονομάζεται και χαρακτηρίζεται ως έξυπνη ενεργειακή πόλη. Για την επίτευξη βέβαια μιας τέτοιας πόλης απαιτείται μια σειρά από ενέργειες οι οποίες χωρίζονται σε συγκεκριμένα επίπεδα ανάλογα με την χρήση τους, τον σκοπό τους και τις απαιτήσεις τους. Επομένως:

1. Στο κατώτατο επίπεδο και δηλαδή στη βάση της πυραμίδας, βρίσκεται ο σημαντικότερος ανθρώπινος πόρος. Απαιτούμενα χαρακτηριστικά των ανθρώπων μιας ενεργειακής κοινωνίας είναι η ευφυΐα, η εφευρετικότητα, η συνεργασία και ο κοινός τους σκοπός να καθορίσουν σημαντικά την ανάπτυξη της πόλης τους. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις έξυπνες ενεργειακές κοινωνίες θα αναπτυχθούν παρακάτω.
2. Το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει όλους εκείνους τους θεσμικούς μηχανισμούς που σχετίζονται με την μάθηση και την καινοτομία και αφορούν την πληροφόρηση, την αξιολόγηση και την κοινωνική συνεργασία στα πλαίσια της

συλλογικής ευφυΐας. Είναι συνοπτικά η δημιουργικότητα ενός πληθυσμού μεταφρασμένη σε καθημερινές ρουτίνες και πρακτικές εργασίας.

3. Τέλος, στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκονται όλα εκείνα τα εργαλεία και οι ψηφιακές εφαρμογές καινοτομίας, υποστήριξης και πληροφορίας βάσει των οποίων δημιουργούνται τα σύγχρονα περιβάλλοντα της γνώσης. Πρόκειται για την ψηφιακή διάσταση του δημόσιου συστήματος επικοινωνίας που είναι στην διάθεση του πληθυσμού της πόλης.

Συνεπώς, μια υλοποίηση βιώσιμων ενεργειακών πόλεων προϋποθέτει και απαιτεί το κατάλληλο όραμα, σκοπός του οποίου είναι η ανάλυση και η εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών, μια συγκεκριμένη στρατηγική στόχων, η κατάλληλη ηγεσία και τα κατάλληλα συνεργατικά μοτίβα-μοντέλα μεταξύ των συμμετεχόντων.

4.6 Έξυπνες μηδενικής ενέργειας κοινωνίες

Περνώντας από τις έξυπνες ενεργειακές πόλεις σε επίπεδα κοινότητας, γίνεται αντιληπτό ότι μελλοντικά οι προκλήσεις των ενεργειακών κοινοτήτων θα είναι πολύ απαιτητικές. Οι κοινότητες αυτές οφείλουν να χαρακτηρίζονται από έννοιες όπως η κοινωνική πρόοδος και η περιβαλλοντική άνθιση, καθώς επίσης και να αποτελούν πόλους έλξης και κινητήριες δυνάμεις οικονομικής ανάπτυξης που βασίζονται σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση κατά την οποία λαμβάνονται υπόψιν οι διάφορες πτυχές της βιωσιμότητας. Όπως αναφέρεται στον Χάρτη της Λειψίας της Ε.Ε. οι βιώσιμες κοινότητες οφείλουν:

1. Να δημιουργήσουν το ιδανικό περιβάλλον για τους αστικούς πληθυσμούς που θα είναι ικανό να προσελκύσει τουρισμό, επιχειρήσεις, βιομηχανία αλλά και εργατικό δυναμικό.
2. Να εκσυγχρονίσουν και να εξελίξουν τα υπάρχοντα δίκτυα υποδομής. Η συγκεκριμένη προσέγγιση περιλαμβάνει ένα ιδιαίτερα ποιοτικό και οικονομικό σύστημα αστικών μεταφορών που θα συνδέει όλη την πόλη με την κάθε δυσπρόσιτη ή μη περιοχή καθώς και τη βελτίωση των δικτύων εφοδιασμού, όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια και η παροχή νερού.
3. Να διασφαλίζουν την ορθή και αποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων όπως επίσης, την οικονομική και ενεργειακή απόδοση σε νέα αλλά και ήδη υπάρχοντα κτίρια (ενεργειακή απόδοση) [34].

Η κοινότητα μηδενικής ενέργειας μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια κοινότητα ορθής ενεργειακής κατανάλωσης όπου η ενέργεια της χρήσης οχημάτων μαζί με την κατανάλωση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας να ισούνται με την παραγόμενη

ανανεώσιμη ενέργεια. Έτσι, όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό η περιοχή αυτή αποτελείται ιδανικά από πολίτες-χρήστες και τοπικές αρχές που εκμεταλλεύονται στο έπακρο την τεχνολογία της πληροφορίας με σκοπό τις καλύτερες ποιοτικές συνθήκες ζωής με την ορθότερη διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων.

Ο στόχος μιας τέτοιας λύσης είναι κάτι περισσότερο από την απλή ανάπτυξη και εκμετάλλευση της τεχνολογίας. Ίσως πρόκειται για μια κοινότητα που καλείται να έρθει αντιμέτωπη στις προκλήσεις της παγκόσμιας οικονομίας της γνώσης. Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα μπορούν να αποτελέσουν την βάση για κοινότητες έξυπνης μηδενικής ενέργειας που προσφέρουν:

1. Αξιοπιστία και ασφάλεια μέσω της τεχνολογίας της πληροφορίας.
2. Κατάλληλες λειτουργίες που θα ανταπεξέλθουν στις ενεργειακές απαιτήσεις και ενέργειες που αποσκοπούν στις ελάχιστες εκπομπές ρύπων.
3. Προσαρμογή στις ταχέως εξελισσόμενες τεχνολογίες ΤΠΕ, καθώς και αξιοποίηση των δυνατοτήτων του διαδικτύου και των έξυπνων ενεργειακών συσκευών.
4. Επίτευξη της απαραίτητης ισορροπίας μεταξύ της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας σε κοινοτικό και περιφερειακό επίπεδο, πράγμα το οποίο συμβάλλει στο έξυπνο ενεργειακό και βιώσιμο αστικό περιβάλλον.
5. Την αποτελεσματική διαχείριση της διακοπτόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε συνδυασμό με τα πρότυπα ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων [34].

Στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα, η κοινωνία και γενικότερα ο καταναλωτής απαιτείται να διαδραματίζει βασικό ρόλο και να αποτελεί ενεργό μέλος της αγοράς. Ο ρόλος του καταναλωτή είναι να πληροφορείται σε πραγματικό χρόνο από το ενεργειακό δίκτυο, τόσο για την κατανάλωση του όσο και για πιθανές προσφορές (οικονομικά κίνητρα) μέσω των οποίων καλείτε να μεταβάλλει και να προσδιορίζει τις εκάστοτε επιλογές και προτιμήσεις του.

Κεφάλαιο 5 – Καταναλωτές και έξυπνα ενεργειακά δίκτυα

5.1 Ο ρόλος και η συμπεριφορά των καταναλωτών

Με την έλευση του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, το κλασικό δίκτυο παθητικής διανομής και η μονόδρομη επικοινωνία ανάμεσα σε προμηθευτές και καταναλωτές πρόκειται να δώσει την θέση του στην λογική της ενεργής και αμφίδρομης επικοινωνίας η οποία πρόκειται να αλλάξει ριζικά την θέση και τον ρόλο του καταναλωτή. Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο επιτρέπει την αμφίδρομη σχέση ανταλλαγής πληροφοριών και ενέργειας μεταξύ των προμηθευτών και των καταναλωτών, δίνοντας έτσι στους τελικούς χρήστες την δυνατότητα απόφασης, δράσης και επιλογής.

Έτσι, είναι σημαντικό, να γίνει πλήρως κατανοητός ο ρόλος των καταναλωτών, με σκοπό να γνωρίζουν εξ' αρχής το πόσο ενεργά μπορούν να συμμετέχουν και να δρουν στο σύστημα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερα σημαντική προϋπόθεση για τους παρόχους, είναι να αναπτύξουν ή να εξελίξουν την υπάρχουσα σχέση τους με τους καταναλωτές τους προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή σχέση εμπιστοσύνης [43].

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί αναγνωρίζουν μία θετική στάση των καταναλωτών απέναντι στις τεχνολογίες των έξυπνων ενεργειακών δικτύων [44]. Ωστόσο, ταυτόχρονα αναγνωρίζουν την ανάγκη αντιμετώπισης λανθασμένων πεποιθήσεων που εξακολουθούν να υπάρχουν σε ότι σχετίζεται με αυτές τις νέες τεχνολογίες. Ειδικότερα, ο ρόλος και οι αβεβαιότητες που συνδέονται με τη συμμετοχή των καταναλωτών στη βιώσιμη κατανάλωση αναγνωρίζονται επίσης από την ειδική ομάδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα (EC TFSG, 210): «Η συμμετοχή και η εκπαίδευση του καταναλωτή είναι βασικής σημασίας, καθώς αναμένεται να υπάρξουν θεμελιώδεις αλλαγές στη λιανική αγορά ενέργειας». Για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής απόδοσης αλλά και της ασφάλειας πρέπει να πραγματοποιηθούν αλλαγές στον τρόπο κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οποιαδήποτε έλλειψη εμπιστοσύνης από πλευράς καταναλωτών, για τα νέα συστήματα μπορεί να επιφέρει αποτυχίες και ζημιογόνες επιπτώσεις στην έννοια και την ωφέλιμη χρήση των έξυπνων ενεργειακών δικτύων.

Επιπλέον, η ευρωπαϊκή επιτροπή ενστερνίζεται την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και υπογραμμίζει πως: «Η ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών δικτύων στην ανταγωνιστική λιανική αγορά οφείλει να ενθαρρύνει και να κατευθύνει τους καταναλωτές σε μια νέα, ενεργή και πιο δραστήρια συμπεριφορά με στόχο να προσαρμοστούν στα νέα «έξυπνα» μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας». Παρόλα αυτά, η επιτροπή φαίνεται να αναγνωρίζει επίσης την σχετική αβεβαιότητα ή δισταγμό που συνοδεύει τη νέα αυτή τεχνολογία: «Δεν υπάρχει σαφήνεια σε σχέση με την ενσωμάτωση

των σύνθετων αυτών συστημάτων των έξυπνων ενεργειακών δικτύων και τον τρόπο επιλογής των οικονομικά αποδοτικότερων τεχνολογιών των οποίων τα τεχνικά πρότυπα θα ισχύσουν μελλοντικά αλλά και κατά πόσο έτοιμοι θα είναι οι καταναλωτές να δεχτούν και να αγκαλιάσουν τη νέα αυτή τεχνολογία».

Όπως φαίνεται να υποστηρίζουν ορισμένοι συγγραφείς, ένα από τα πιο σημαντικά «τμήματα» των έξυπνων ενεργειακών δικτύων είναι άνθρωποι που τα συγκροτούν [45]. Συνεπώς, η δράση και η συμμετοχή των καταναλωτών στο δίκτυο είναι ο κινητήριος μοχλός και επομένως, η κατανόηση των καταναλωτών θεωρείται απαραίτητη και αναγκαία [45]. Έτσι πολλοί υποστηρίζουν ότι είναι απαραίτητη η κατανόηση και εστίαση στις συνήθειες και στην ρουτίνα της καθημερινότητας των καταναλωτών ενώ αντιθέτως, η κοινότητα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου επιμένει να δίνει σημαντική προσοχή σε θέματα τεχνολογικής αλλά και οικονομικής φύσεως [46].

Σύμφωνα με τον Tim Jackson [47] η αειφόρος και βιώσιμη κατανάλωση καθώς και η συμπεριφορά των καταναλωτών είναι ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία του δικτύου. Παρόλα αυτά, αναγνωρίζει την δυσκολία σε κάθε αλλαγή ή παρακίνηση προς συγκεκριμένη κατεύθυνση της καταναλωτικής συμπεριφοράς. Οι καταναλωτές είναι «εγκλωβισμένοι» σε μη βιώσιμα πρότυπα και έχουν την τάση να επηρεάζονται και να καθοδηγούνται από κοινωνικούς κανόνες (τυπικούς ή άτυπους) αλλά κυρίως από τις απόψεις, τις συμπεριφορές και τις αντιλήψεις των ανθρώπων που τους περιβάλλουν. Ταυτόχρονα, η στάση των καταναλωτών συνδέεται άμεσα με πολύ βασικές έννοιες όπως είναι η εμπιστοσύνη και η δικαιοσύνη [49]. Αυτή είναι και η πολυπλοκότητα που πρέπει να αντιμετωπιστεί και σχετίζεται άμεσα με τη διαπραγμάτευση, την δέσμευση και την ενθάρρυνση ή αποθάρρυνση συγκεκριμένων καταναλωτικών συμπεριφορών [47].

Μελέτες που αφορούν την κατανάλωση και την χρήση της ενέργειας δείχνουν ότι οι πιο αποτελεσματικές και επιτυχημένες στρατηγικές πληροφόρησης που εμπλέκουν τον καταναλωτή στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι αυτές που περιλαμβάνουν εξατομικευμένες προσεγγίσεις κοινωνικού μάρκετινγκ. Οι προσεγγίσεις αυτές παρέχουν πληροφορίες προσαρμοσμένες στις ανάγκες και επιθυμίες μεμονωμένων ομάδων καταναλωτών αλλά και στρατηγικές σχετικές με τη συμπεριφορά των ανθρώπων [48].

5.2 Πλεονεκτήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου από πλευράς καταναλωτών

Τα κύρια πλεονεκτήματα ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου μπορούν να αναλυθούν ως εξής:

- **Προσφορές:** Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο είναι ικανό να παρέχει στον καταναλωτή την δυνατότητα εξοικονόμησης χρημάτων. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται άμεσα από την συμπεριφορά του καταναλωτή ο οποίος ενεργεί βάσει των πληροφοριών και δεδομένων διαθέτει. Έτσι μια πιθανή μείωση ή προσφορά κόστους σε ώρες μη αιχμής έχει τη δυνατότητα να παρακινήσει ή και να

αναγκάσει τον καταναλωτή να τροποποιήσει τις καταναλωτικές του συνήθειες για να διασφαλίσει την λιγότερη δυνατή χρέωση στους λογαριασμούς του.

- **Κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο:** Ίσως ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου ως προς τους καταναλωτές είναι η πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο η οποία παρέχει ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με την ποσότητα και την χρήση της ενέργειας καθώς και δεδομένα που αφορούν την κοστολόγηση της.
- **Αξιοπιστία:** Λόγω της αυξημένης διαθεσιμότητας δεδομένων εντός του ενεργειακού δικτύου, είναι εφικτό να προβλεφθούν οποιεσδήποτε διακοπές ρεύματος και ορισμένες φορές ακόμα και να αποτραπούν. Οι δυνατότητες αυτές αυτοθεραπείας του έξυπνου δικτύου επιτρέπουν την ταχύτατη επίλυση προβλημάτων πολλές φορές πριν καν οι ίδιοι οι πελάτες αποκτήσουν επίγνωση του προβλήματος. Αυτό όπως είναι προφανές, δημιουργεί ένα αξιόπιστο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Απομακρυσμένη χρήση:** Η εισαγωγή έξυπνων μετρητών στο σύστημα του δικτύου σημαίνει ότι οι εταιρείες κοινής ωφελείας δεν χρειάζεται να χρεώνονται το κόστος διαχείρισης που αφορά τον έλεγχο των μετρητών. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή, όπως ήδη αναφέρθηκε, οι πληροφορίες διαβιβάζονται αμφίδρομα από τον έξυπνο οικιακό μετρητή κατά μήκος του συστήματος επικοινωνίας στην βάση δεδομένων του ενεργειακού δικτύου. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι οποιεσδήποτε εξοικονομήσεις των εταιρειών ενδέχεται να μεταβιβαστούν έμμεσα και στους καταναλωτές.
- **Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:** Η εισαγωγή και η λειτουργία του έξυπνου ενεργειακού δικτύου απαιτεί και προϋποθέτει την αυξημένη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επομένως την μείωση της εξάρτησής από τα ορυκτά καύσιμα. Το γεγονός αυτό όχι μόνο βοηθά σημαντικά στην μείωση του κόστους για τους καταναλωτές, αλλά ταυτόχρονα και στην μείωση του οικολογικού αποτυπώματος του ενεργειακού δικτύου.
- **Μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος:** Με την έννοια ενεργειακό ή αλλιώς οικολογικό αποτύπωμα, η οποία έγινε γνωστή πριν μια δεκαετία περίπου, αναφερόμαστε στις επιδράσεις των ανθρώπινων ενεργειών και δραστηριοτήτων πάνω στην Γη. Σύμφωνα με έρευνες, στην σημερινή εποχή η ανθρωπότητα καταναλώνει περίπου δυο φορές γρηγορότερα τους πόρους που η φύση μας παρέχει επιβαρύνοντας έτσι την οικολογική κατάσταση και εξαντλώντας τα φυσικά αποθέματα του πλανήτη μας.

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο μέσω ενεργειών, όπως για παράδειγμα η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η κατάλληλη διαχείριση της παραγωγής και μεταφοράς της ενέργειας αλλά ακόμα και η δυναμική τιμολόγηση της χρήσης της ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης των φυσικών πόρων αλλά και σε αρκετά χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

5.3 Μειονεκτήματα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου από πλευράς καταναλωτών

Τα κύρια μειονεκτήματα ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου μπορούν να αναλυθούν ως εξής:

- **Αρχικό κόστος εγκατάστασης:** Το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Αυτό ενόχλησε, όπως είναι προφανές, την κοινή γνώμη αφού πολλοί θεώρησαν ότι τα απαιτούμενα χρήματα για ένα τέτοιο εγχείρημα θα προέρχονταν άμεσα και κυρίως από τον καταναλωτή. Παρόλα αυτά, αυτό δεν είναι απαραίτητο, καθώς οι αρμόδιες εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να επενδύσουν άμεσα στις τεχνολογικές αυτές βελτιώσεις με σκοπό να ανακτήσουν το κόστος αυτό αργότερα και έμμεσα μέσω της τιμολόγησης των βελτιωμένων υπηρεσιών που θα προσφέρουν στους τελικούς καταναλωτές.
- **Έλλειψη διαφάνειας και πολυπλοκότητα:** Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο χαρακτηρίζεται από την δυνατότητα των εταιρειών κοινής ωφέλειας να μπορούν να αλλάζουν σε πραγματικό χρόνο τις τιμές ενέργειας μέσω των σχετικών καταναλωτικών πληροφοριών που διαθέτουν. Μία από τις βασικές έννοιες, αν όχι η πιο βασική, του έξυπνου δικτύου είναι η στόχευση της εξισορρόπησης των αιχμών και των τιμών της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρείες όπως είναι φυσιολογικό αυξάνουν την τιμή της ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, ενώ αντίθετα, την μειώνουν κατά τη διάρκεια των χρονικών περιόδων όπου η ζήτηση εμφανίζεται μειωμένη. Έτσι, ενώ στο παρελθόν οι καταναλωτές, λόγω του παθητικού τους ρόλου, δεν προβληματίζονταν με το κόστος της ενέργειας τώρα καλούνται να ασχοληθούν με ένα πολύπλοκο σύστημα τιμολόγησης.
- **Επιπτώσεις στην υγεία:** Ορισμένοι καταναλωτές έχουν ήδη αρχίσει να ανησυχούν ιδιαίτερα για τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και έξυπνων ενεργειακών συσκευών. Η ανησυχία αυτή προέρχεται από τα μέσα μαζικής ενημέρωσής τα οποία εξετάζουν την χρήση ασύρματων συσκευών οι οποίες ενδεχομένως να εκπέμπουν επιβλαβή ακτινοβολία (ραδιοκύματα, μικροκύματα κλπ.). Ωστόσο, δεν υπάρχουν εκτιμήσεις ή σχετικές πληροφορίες, ούτε επιστημονική έρευνα που να

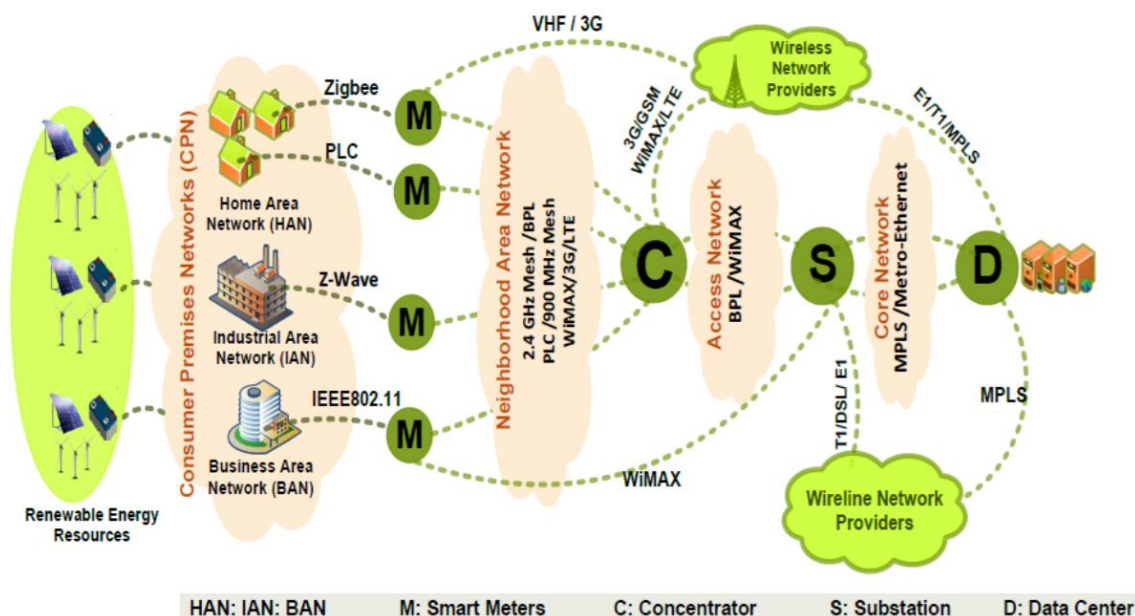
αποδεικνύει ότι οι ασύρματοι έξυπνοι μετρητές ή συσκευές είναι σε θέση να αποτελέσουν σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Κεφάλαιο 6 - Θέματα ασφαλείας σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο

6.1 Στοιχεία του δικτύου

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο ενσωματώνει δύο τύπους επικοινωνίας: Το οικιακό δίκτυο (Home Area Network - HAN) και αυτό της ευρείας περιοχής ή δίκτυο μεγάλων αποστάσεων (Wide Area Network - WAN). Το οικιακό δίκτυο συνδέει τις έξυπνες (στα πλαίσια της οικίας) συσκευές, με έναν έξυπνο μετρητή και όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, προτιμώνται συνήθως τεχνολογίες όπως ZigBee, ενσύρματο ή ασύρματο Ethernet ή Bluetooth [50].

Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network – WAN) αντιθέτως, είναι ένα ευρύτερο δίκτυο υπεύθυνο να συνδέει τους έξυπνους αυτούς μετρητές με τους εκάστοτε παρόχους υπηρεσιών. Το εν λόγω δίκτυο χρησιμοποιεί για την σύνδεση αυτή, τεχνολογίες όπως: WiMAX, 4G ή οπτικές ίνες. Οι μετρητές αυτοί έχουν τον ρόλο και τις ιδιότητες της πύλης μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών συσκευών ώστε να είναι δυνατή η συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών και δεδομένων των καταναλωτών.



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, Πηγή:[50]

Οι προμηθευτές του ηλεκτρικού ρεύματος, διαχειρίζονται εντός του δικτύου την κατανομή ισχύος συλλέγοντας την υπό-ωριαία κατανάλωση ενέργειας από τους έξυπνους μετρητές και όταν χρειάζεται ή απαιτείται ειδοποιούν και ενημερώνουν σε πραγματικό χρόνο τους κατάλληλους μετρητές. Οι μετρητές από την μεριά τους λαμβάνουν τα

μηνύματα και τις ειδοποιήσεις από συσκευές εντός του οικιακού δικτύου και τις στέλνουν στον εκάστοτε κατάλληλο πάροχο υπηρεσιών. Η παραπάνω εικόνα (Εικόνα 8) απεικονίζει την βασική αυτή αρχιτεκτονική [50].

6.2 Στοιχεία του Συστήματος

Τα κύρια μέρη του συστήματος ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου είναι οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι πόροι, οι έξυπνοι μετρητές, το κέντρο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και οι πάροχοι υπηρεσιών.

Οι καθημερινής χρήσης ηλεκτρικές οικιακές συσκευές («έξυπνες» ή μη) είναι ικανές να συνδεθούν με έξυπνους μετρητές μέσω ενός οικιακού δικτύου που στόχο έχει την μέγιστη διευκόλυνση και ορθότερη διαχείριση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική είναι εκείνες που τροφοδοτούν οικιακές συσκευές με τοπικά παραγόμενο ηλεκτρισμό.

Οι έξυπνοι μετρητές είναι ένα ενσωματωμένο αυτόνομο σύστημα που διαθέτουν έναν μικροελεγκτή ο οποίος εμπεριέχει μία εγγράψιμη και μια μη εγγράψιμη μνήμη, αναλογικές ή ψηφιακές θύρες, καθώς επίσης μετρητές και ρολόι αναφοράς σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι μετρητές, όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι υπεύθυνοι για, να καταγράφουν την κατανάλωση ισχύος και να την μεταδίδουν στον αρμόδιο πάροχο κοινής ωφέλειας, να συνδέουν ή να αποσυνδέουν την τροφοδοσία του πελάτη ανάλογα με την συνέπεια του και να ειδοποιούν άμεσα τις αρμόδιες οντότητες (παραγωγή και κατανάλωση) με κατάλληλα μηνύματα συναγερμού σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας ή βλάβης. Ορισμένοι έξυπνοι μετρητές διαθέτουν ειδικές διεπαφές που έχουν την δυνατότητα να συνδέονται απευθείας με έξυπνες συσκευές. Για παράδειγμα, ενεργοποιούν το κλιματιστικό ή το πλυντήριο κατά τις περιόδους μη αιχμής ή ανοίγουν τα ρολά των παραθύρων σύμφωνα με τις προγραμματισμένες από τον χρήστη ώρες.

Το κέντρο ελέγχου (Electric Utility Center - EUC) αλληλεπιδρά και επικοινωνεί με τους έξυπνους μετρητές για την καλύτερη ρύθμιση της κατανάλωσης ενέργειας [50]. Στέλνει επίσης σχετικές με την κατανάλωση οδηγίες στους έξυπνους μετρητές και συλλέγει αναφορές χρήσης της ενέργειας καθώς επίσης, τους ενημερώνει με ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης ή σφάλματος. Οι πάροχοι υπηρεσιών επικοινωνούν αμφίδρομα με τις εσωτερικές έξυπνες συσκευές στέλνοντας κατάλληλα μηνύματα τα οποία μεταδίδονται από τους έξυπνους μετρητές. Για τη δημιουργία αυτού του είδους της αλληλεπίδρασης, οι πάροχοι οφείλουν να συνδεθούν στο λογισμικό ελέγχου προκειμένου να λάβουν ψηφιακά πιστοποιητικά ταυτοποίησης και δημόσια κλειδιά τα οποία εν συνεχεία χρησιμοποιούνται για να την ασφαλή επικοινωνία με τους χρήστες-καταναλωτές [50].

6.3 Αδυναμίες και Απειλές του Δικτύου

Μέχρι τώρα τα συστήματα που ελέγχουν το ηλεκτρικό δίκτυο διατηρούνται απομονωμένα από μη αξιόπιστα περιβάλλοντα όπως το Διαδίκτυο. Ωστόσο, το εξορισμού συνδεδεμένο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο πιθανόν να κρύβει κινδύνους που σχετίζονται με την ασφάλεια της δικτυακής υποδομής [51].

Για παράδειγμα, πιθανές κακόβουλες ενέργειες δεν χρειάζεται πλέον να εστιαστούν σε συγκεκριμένους χώρους ή συστήματα (π.χ. γεννήτριες, υποσταθμούς, κλπ.) για να απειλήσουν και γενικότερα να διαταράξουν την διαδικασία της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά αντίθετα μπορούν πολύ εύκολα να πραγματοποιηθούν από οποιοδήποτε σημείο του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Επίσης μπορούν να στοχεύσουν σε κτίρια και άλλες εξίσου κρίσιμες υπηρεσίες όπως τα νοσοκομεία, μέσω αποστολής ψεύτικων εντολών ελέγχου σε μια προσπάθεια απομακρυσμένης διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που μπορεί να αποβεί μοιραίο για την ζωή των ασθενών. Ενδέχεται επίσης, για οικονομικούς κυρίως λόγους, να πραγματοποιηθούν επιθέσεις με σκοπό την διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε επιχειρήσεις ή οργανισμούς [52].

Η επίδραση της διακοπής της ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλες περιόδους μπορεί να είναι καταστροφική και να επηρεάσει τις ζωές εκατομμυρίων ανθρώπων. Ως εκ τούτου, για να αντιμετωπιστούν τέτοιες επιθέσεις η ασφάλεια πρέπει να ενσωματωθεί εξ αρχής και από την διαδικασία σχεδιασμού της οποιασδήποτε εφαρμογής.

Το ιδιωτικό απόρρητο των χρηστών είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα στην εφαρμογή του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Για παράδειγμα, όπως ήδη αναφέρθηκε προηγουμένως, για να βελτιστοποιηθούν οι λειτουργίες του ενεργειακού δικτύου και να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη των καταναλωτών, οι χρήστες οφείλουν να παρέχουν σημαντικά στοιχεία και πληροφορίες της κατανάλωσης τους οι οποίες θα κοινοποιούνται από τους έξυπνους οικιακούς μετρητές τους σε όλες τις οντότητες του ενεργειακού δικτύου. Ωστόσο, η ανεξέλεγκτη πρόσβαση σε αυτά τα λεπτομερή και ευαίσθητα δεδομένα μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ιδιωτική τους ζωή. Οι επιχειρήσεις με πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα μπορούν να δημιουργήσουν ειδικά προφίλ κατανάλωσης ενέργειας των χρηστών και να χρησιμοποιούν τεχνικές ελέγχου και παρακολούθησης της κατανάλωσης αυτής, με σκοπό την ανάλυση αυτών των προφίλ, έτσι ώστε να αντλήσουν περισσότερες πληροφορίες που αφορούν την ρουτίνα, τις συνήθειες και γενικότερα τον τρόπο ζωής των καταναλωτών [53]. Όσο πιο λεπτομερή είναι τα δεδομένα αυτά, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος της ιδιωτικής ζωής των χρηστών.

Επιπλέον, καθώς τα έξυπνα οχήματα περιλαμβάνουν την λειτουργία του εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, τα στοιχεία αυτά (π.χ. σταθμοί φόρτισης και προμηθευτές) μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν κακόβουλα με σκοπό την διαμόρφωση των προφίλ της χρήσης των οχημάτων και των τοποθεσιών που διαμένουν, συχνάζουν ή εργάζονται οι χρήστες. Ως εκ τούτου, κάθε «έξυπνη» εφαρμογή θα πρέπει να έχει ενσωματωμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας και προστασίας του ιδιωτικού απορρήτου αλλά και την έγκρισή των καταναλωτών για την διαδικασία

συλλογής δεδομένων η οποία πρέπει να εξασφαλίζει ότι δεν οδηγεί σε υποβάθμιση του ιδιωτικού απορρήτου τους, ούτε στην διαρροή των προσωπικών τους πληροφοριών [54].

Ο σχεδιασμός του δικτύου οφείλει να λαμβάνει σοβαρά υπόψιν τις απαιτήσεις της ιδιωτικής και προσωπικής ζωής των χρηστών και μάλιστα να δίνει την επιλογή στους χρήστες να ελέγχουν τις πληροφορίες και τα δεδομένα τους, καθώς και σε ποια εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν αυτές να αποκαλυφθούν. Η σημασία της ασφάλειας του δικτύου και της προστασίας της ιδιωτικής ζωής των χρηστών υπήρξε επίσης μία αναγνωρισμένη και βασική παράμετρος τόσο από τα όργανα τυποποίησης (NIST, IETF και ETSI) όσο και από την ερευνητική κοινότητα. Οι προσπάθειες αυτές στοχεύουν στην ευαισθητοποίηση των εμπλεκομένων για την σημασία της ασφάλειας και της προστασίας της ιδιωτικής ζωής των καταναλωτών στον τομέα των ενεργειακών δικτύων. Όλοι οι φορείς-ερευνητές συμφωνούν ότι τα ζητήματα της ασφάλειας και ιδιωτικότητας θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα και να διευκρινίζονται εξ' αρχής κατά τον σχεδιασμό ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου, και όχι μετέπειτα [52].

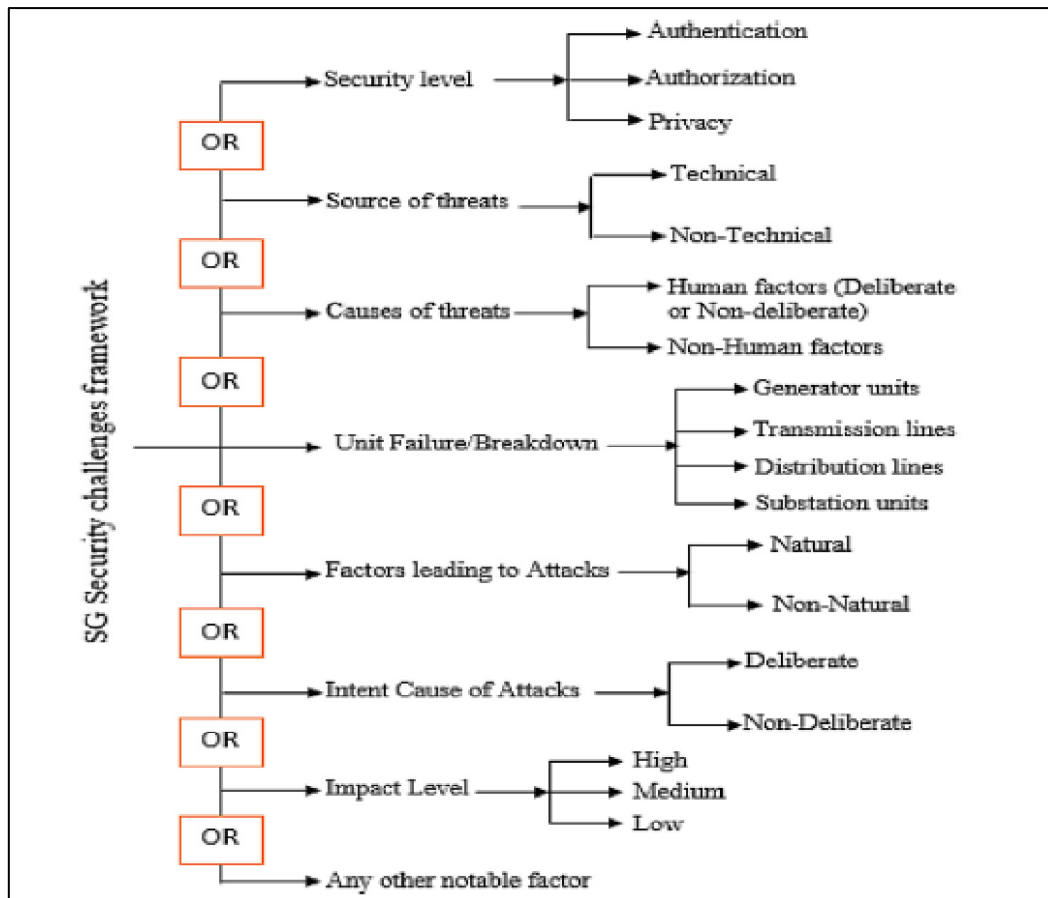
Από μια ευρεία οπτική γωνία, οι προκλήσεις της ασφάλειας μπορούν να αναλυθούν και να εξεταστούν σε ότι αφορά την πιστοποίηση ταυτότητας, την εξουσιοδότηση και την προστασία της ιδιωτικής ζωής, τα επίπεδα ασφάλειας (τεχνικά και μη τεχνικά) ανάλογα την πηγή των απειλών. Ακόμη μπορούν να εξεταστούν σε ότι αφορά φυσικά ή μη φυσικά αίτια βάσει των υπεύθυνων παραγόντων ή βάσει σκοπιμότητας όπως είναι τα οργανωμένα εγκλήματα που σχετίζονται με την πειρατεία, την τρομοκρατία, τα εγκλήματα του κυβερνοχώρου, την κλοπή και την δολιοφθορά [55]. Τέλος μία απειλή στο δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί χαμηλή, μέτρια ή υψηλή βάσει του επιπέδου των ζημιογόνων επιπτώσεων που πιθανώς να προκαλέσει στην λειτουργικότητα του δικτύου (επιπτώσεις στις λειτουργίες, τα περιουσιακά στοιχεία ή το προσωπικό των συστημάτων) [56].

6.4 Αντικειμενικοί στόχοι ασφάλειας σε ένα δίκτυο

Δεδομένης της σημαντικότητας, της διασυνδεσιμότητας και της αλληλεξάρτησης αυτών των υποδομών, η επιδίωξη για ένα ορθολογικό, ιδιαίτερα αξιόπιστο και ανθεκτικό σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει τον σωστό σχεδιασμό με βάση την ασφάλεια και την αποδοτικότητα [57]. Ως εκ τούτου, οι καλά προσδιορισμένοι στόχοι ασφάλειας θεωρούνται ζωτικής σημασίας και είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, για την εξασφάλιση της αξιόπιστης και ορθής λειτουργίας του δικτύου. Επίσης, αυτοί οι στόχοι οφείλουν να καλύπτουν κάθε πιθανό σχέδιο επέκτασης και βελτίωσης των μελλοντικών δικτύων όπως για παράδειγμα την επέκταση του ενεργειακού δικτύου με την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η οποία θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο πρέπει να είναι ανθεκτικό, λειτουργικό και ασφαλές. Θα πρέπει εν ολίγοις να διαθέτει ένα υψηλό επίπεδο ακεραιότητας,

λειτουργικότητας και αποτελεσματικότητας όπως επίσης και ένα λειτουργικό επίπεδο ταυτοποίησης, αξιόπιστο, με ευελιξία και δυνατότητα κλιμάκωσης [58].



Εικόνα 9: Πλαίσιο αναγνώρισης απειλών και προκλήσεων σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, Πηγή:[58]

Επιπλέον, πολύ σημαντικό είναι να διαθέτει ένα υψηλό επίπεδο προσβασιμότητας αλλά και ελέγχου, διευκολύνοντας παράλληλα την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και την βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Επίσης, θα πρέπει να προσφέρει ταυτόχρονα μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας μέσω αποτελεσματικού σχεδιασμού του συστήματος (ειδικά για μελλοντική επέκταση) [12].

Πρότυπα όργανα και φορείς όπως είναι το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. (Department of Energy - DOE), το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST), το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), η Google, η Microsoft, η General Electric (GE), ερευνητικά ιδρύματα, κέντρα και επαγγελματικοί οργανισμοί, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση μιας βιώσιμης ανάπτυξης των συστημάτων του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στις συμβολές τους στην έρευνα και τις επενδύσεις στο θέμα της ασφάλειας. Έτσι, οι καλώς προσδιορισμένοι στόχοι ασφάλειας των έξυπνων ενεργειακών

δικτύων θα ενισχύσουν ακόμα περισσότερο την λειτουργικότητα και την βιωσιμότητα τους [58].

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο με συνετή, ορθολογική και ασφαλή χρήση αποτελεί βασικό και ιδιαίτερης σημασίας εργαλείο για το μέλλον της ανθρωπότητας. Αυτό βέβαια προϋποθέτει μια σειρά «πράσινων» ενεργειών τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο βάσει των οποίων οι άνθρωποι θα πρέπει να ζούμε και να λειτουργούμε μέσα σε ένα πληροφοριακό σύστημα-περιβάλλον έχοντας ως βασικό στόχο την διατήρηση και την ανάπτυξη του φυσικού περιβάλλοντος.

Συμπεράσματα

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε και αναλύθηκε η έννοια των έξυπνων ενεργειακών δικτύων και πιο συγκεκριμένα οι σχέσεις μεταξύ των παρόχων και των καταναλωτών. Τονίστηκε επίσης η ανάγκη μετάβασης από το ήδη υπάρχον «παραδοσιακό» δίκτυο στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο δίνοντας ιδιαίτερη βάση και υπογραμμίζοντας την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης της ενέργειας.

Η επίτευξη ενός τέτοιου δικτύου μελλοντικά εξαρτάται ιδιαίτερα από τις υποδομές και την τεχνολογία του καθώς και τις συσκευές του, με πρωταρχικό στόχο την καλύτερη δυνατή κάλυψη της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η έννοια των έξυπνων ενεργειακών δικτύων στοχεύει στην διασφάλιση και την παροχή αξιοπιστων και άρτιων υπηρεσιών παραγωγής και διανομής ενέργειας αλλά και στην μέγιστη δυνατή ασφάλεια του δικτύου μέσω της παρακολούθησης και έλεγχού των μεταβολών του δικτύου σε πραγματικό χρόνο.

Εξαιρετικά σημαντική είναι η έννοια της διαχείρισης της ενέργειας από πλευράς καταναλωτών, δίνοντάς τους έτσι την ευκαιρία να ρυθμίσουν και να προγραμματίσουν την συνολική οικιακή τους κατανάλωση ενέργειας βάσει των ωρών αιχμής. Συνεπώς ο εκάστοτε καταναλωτής μέσω απλά και μόνο της χρήσης του έξυπνου τηλεφώνου ή ρολογιού του, μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο και χωρίς φυσική παρουσία την ενεργειακή κατανάλωση της οικίας του, προσαρμόζοντάς τη με βάση το συμφέρον του.

Ταυτόχρονα, εξίσου σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη των έξυπνων ενεργειακών δικτύων φαίνεται να διαδραματίζουν τα έξυπνα μηδενικής ενέργειας κτίρια που αποσκοπούν στην ορθή διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνουν, με χρήση κατάλληλων ενεργειακών συστημάτων και εξοπλισμού. Η υλοποίηση τους κρίνεται αναγκαία, λόγω της σημαντικότητας του ρόλου που κατέχουν σε μια έξυπνη ενεργειακή πόλη και επομένως και στα πλαίσια μιας έξυπνης ενεργειακής κοινωνίας. Μιας κοινωνίας που αποσκοπεί στην μέγιστη δυνατή και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων και ενέργειας μεταξύ των οντοτήτων, των συστημάτων και των λειτουργιών που την αποτελούν με ταυτόχρονη αντιμετώπιση των οικονομικών και πολιτικών αναγκών και την υιοθέτηση μιας «πράσινης» συμπεριφοράς της απέναντι στο περιβάλλον.

Επομένως, το συνεχώς εξελισσόμενο ενεργειακό πλάνο προϋποθέτει μια ανάλυση βάσει της οποίας να παραμένουν κατά το δυνατό αμετάβλητα τα έσοδα και ταυτόχρονα να πραγματοποιείται η βέλτιστη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω συγκεκριμένων υποδομών. Επίσης για την ανάπτυξη των έξυπνων ενεργειακών δικτύων χρειάζεται η αναζήτηση και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών όπως είναι η αποθήκευση της ενέργειας, οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσονται. Επομένως, μολονότι τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα βρίσκονται σε αρκετά πρώιμο στάδιο, στο μέλλον όπως όλα δείχνουν, θα είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας τεχνολογικής αιχμής.

Βιβλιογραφία

- [1] *Smart-grid policies: an international review.* **Brown, Marilyn A. and Zhou, Shan.** s.l. : Wiley Online Library, 2013, Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, Vol. 2, pp. 121–139.
- [2] *Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges.* **Faheem, Muhammad, et al., et al.** s.l. : Elsevier, 2018, Computer Science Review, Vol. 30, pp. 1–30.
- [3] *A survey of routing protocols for smart grid communications.* **Saputro, Nico, Akkaya, Kemal and Uludag, Suleyman.** s.l. : Elsevier, 2012, Computer Networks, Vol. 56, pp. 2742–2771.
- [4] *Smart grid sensor data collection, communication, and networking: a tutorial.* **Kayastha, Nipendra, et al., et al.** s.l. : Wiley Online Library, 2014, Wireless communications and mobile computing, Vol. 14, pp. 1055–1087.
- [5] *From smart grid to energy internet: basic concept and research framework.* **Dong, Zhaoyang, et al., et al.** 2014, Automation of electric power systems, Vol. 38, pp. 1–11.
- [6] *An intrusion detection framework for the smart grid.* **Ullah, Imtiaz and Mahmoud, Qusay H.** 2017. 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). pp. 1–5.
- [7] *Smart grid—The new and improved power grid: A survey.* **Fang, Xi, et al., et al.** s.l. : Ieee, 2011, IEEE communications surveys & tutorials, Vol. 14, pp. 944–980.
- [8] *Smart grid technology, vision management and control.* **Zahran, Mohhammad.** 2013, WSEAS transactions on systems, Vol. 12.
- [9] *Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics.* **Liserre, Marco, Sauter, Thilo and Hung, John Y.** s.l. : IEEE, 2010, IEEE industrial electronics magazine, Vol. 4, pp. 18–37.
- [10] *A survey on smart metering and smart grid communication.* **Kabalci, Yasin.** s.l. : Elsevier, 2016, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 57, pp. 302–318.
- [11] *Ten steps to a smarter grid.* **Collier, Steven E.** s.l. : IEEE, 2010, IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 16, pp. 62–68.
- [12] **Komninos, Nicos.** *The age of intelligent cities: smart environments and innovation-for-all strategies.* s.l. : Routledge, 2014.
- [13] *Survey in smart grid and smart home security: Issues, challenges and countermeasures.* **Komninos, Nikos, Philippou, Eleni and Pitsillides, Andreas.** s.l. : IEEE, 2014, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 16, pp. 1933–1954.
- [14] *ICT and smart grid.* **Panajotovic, Boban, Jankovic, Milan and Odadzic, Borislav.** 2011. 2011 10th International Conference on Telecommunication in

- Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). Vol. 1, pp. 118–121.
- [15] *Smartphone technology can be transformative to the deployment of lab-on-chip diagnostics.* **Erickson, David, et al., et al.** s.l. : Royal Society of Chemistry, 2014, Lab on a Chip, Vol. 14, pp. 3159–3164.
 - [16] *Smart energy consumption Feedback—connecting smartphones to smart meters.* **Weiss, Markus, Mattern, Friedemann and Beckel, Christian.** 2013, ERCIM news, Vol. 14.
 - [17] *Smart home area networks protocols within the smart grid context.* **Hafeez, Ayesha, et al., et al.** 2014, J. Commun, Vol. 9, pp. 665–671.
 - [18] *New Way of Passive RFID Deployment for Smart Grid.* **Chaimae, Elmakfalji and Rahal, Romadi.** s.l. : Journal of Theoretical and Applied Information, 2015, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 82, p. 81.
 - [19] **Washiro, Takanori.** Communication system and communication apparatus. *Communication system and communication apparatus.* s.l. : Google Patents, 8 2012. US Patent 8,238,824.
 - [20] *A new method to measure the divergence in evidential sensor data fusion.* **Song, Yutong and Deng, Yong.** s.l. : SAGE Publications Sage UK: London, England, 2019, International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 15, p. 1550147719841295.
 - [21] *A chronic generalized bi-directional brain–machine interface.* **Rouse, A. G., et al., et al.** s.l. : IOP Publishing, 2011, Journal of neural engineering, Vol. 8, p. 036018.
 - [22] *Underground and overhead monitoring systems for MV distribution networks.* **Zavoda, Francisc, Rodriguez, Ernie and Fofeldea, George.** s.l. : IET, 2017, CIRED-Open Access Proceedings Journal, Vol. 2017, pp. 477–480.
 - [23] *Wireless sensor network applications in smart grid: recent trends and challenges.* **Liu, Yide.** s.l. : SAGE Publications Sage UK: London, England, 2012, International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 8, p. 492819.
 - [24] **Ekl, Randy L., et al., et al.** Method and apparatus for omniscient root node selection in an ad hoc network. *Method and apparatus for omniscient root node selection in an ad hoc network.* s.l. : Google Patents, 4 2010. US Patent 7,697,456.
 - [25] **Arnold, George W., et al., et al.** *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0.* 2010. Tech. rep.
 - [26] *NIST interoperability framework and action plans.* **FitzPatrick, Gerald J. and Wollman, David A.** 2010. IEEE PES General Meeting. pp. 1–4.
 - [27] **Akyol, Bora A., et al., et al.** *A survey of wireless communications for the electric power system.* Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States). 2010. Tech. rep.

- [28] *Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid.* **Gungor, Vehbi C., Lu, Bin and Hancke, Gerhard P.** s.l. : IEEE, 2010, IEEE transactions on industrial electronics, Vol. 57, pp. 3557–3564.
- [29] *The internet of energy: a web-enabled smart grid system.* **Bui, Nicola, et al., et al.** s.l. : IEEE, 2012, IEEE Network, Vol. 26, pp. 39–45.
- [30] *From smart grids to an energy internet: Assumptions, architectures and requirements.* **Tsoukalas, L. H. and Gao, R.** 2008. 2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. pp. 94–98.
- [31] *Smart grid communication network capacity planning for power utilities.* **Luan, Wenpeng, Sharp, Duncan and Lancashire, Sol.** 2010. IEEE PES T&D 2010. pp. 1–4.
- [32] *Privacy for smart meters: Towards undetectable appliance load signatures.* **Kalogridis, Georgios, et al., et al.** 2010. 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications. pp. 232–237.
- [33] *Transmission line condition monitoring based on Internet of Things in smart grid.* **Chen, Lei, et al., et al.** 2013. Applied Mechanics and Materials. Vol. 336, pp. 2488–2493.
- [34] *The role of smart grids in the building sector.* **Kolokotsa, Dionysia.** s.l. : Elsevier, 2016, Energy and Buildings, Vol. 116, pp. 703–708.
- [35] *Smart grid technologies: Communication technologies and standards.* **Gungor, Vehbi C., et al., et al.** s.l. : IEEE, 2011, IEEE transactions on Industrial informatics, Vol. 7, pp. 529–539.
- [36] *Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art.* **Santamouris, Mattheos and Kolokotsa, Dionysia.** s.l. : Elsevier, 2013, Energy and Buildings, Vol. 57, pp. 74–94.
- [37] *Retrofitting an office building towards a net zero energy building.* **Pyloudi, Eleni, Papantoniou, Sotiris and Kolokotsa, Dionysia.** s.l. : Taylor & Francis, 2015, Advances in Building Energy Research, Vol. 9, pp. 20–33.
- [38] *A roadmap towards intelligent net zero-and positive-energy buildings.* **Kolokotsa, D. E. K. D., et al., et al.** s.l. : Elsevier, 2011, Solar Energy, Vol. 85, pp. 3067–3084.
- [39] **Carlisle, Nancy, Van Geet, Otto and Pless, Shanti.** *Definition of a'Zero Net Energy'Community.* National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). 2009. Tech. rep.
- [40] *On the application of clustering techniques for office buildings' energy and thermal comfort classification.* **Nikolaou, Triantafyllia G., et al., et al.** s.l. : IEEE, 2012, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, pp. 2196–2210.
- [41] *Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges.* **Patel, Keyur K., Patel, Sunil M. and others.** 2016, International journal of engineering science and computing, Vol. 6.

- [42] *Internet of Things iot semantic interoperability: Research challenges, best practices, recommendations and next steps.* **Serrano, Martín, et al., et al.** 2015, IERC: European Research Cluster on the Internet of Things, Tech. Rep.
- [43] *Consumer engagement: An insight from smart grid projects in Europe.* **Gangale, Flavia, Mengolini, Anna and Onyeji, Ijeoma.** s.l. : Elsevier, 2013, Energy Policy, Vol. 60, pp. 621–628.
- [44] *Preparing for smart grid technologies: A behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters.* **Krishnamurti, Tamar, et al., et al.** s.l. : Elsevier, 2012, Energy Policy, Vol. 41, pp. 790–797.
- [45] *Building a social roadmap for the smart grid.* **Honebein, Peter C., Cammarano, Roy F. and Boice, Craig.** s.l. : Elsevier, 2011, The Electricity Journal, Vol. 24, pp. 78–85.
- [46] *Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy.* **Verbong, Geert P. J., Beemsterboer, Sjouke and Sengers, Frans.** s.l. : Elsevier, 2013, Energy policy, Vol. 52, pp. 117–125.
- [47] *Live better by consuming less?: is there a “double dividend” in sustainable consumption?* **Jackson, Tim.** s.l. : Wiley Online Library, 2005, Journal of Industrial Ecology, Vol. 9, pp. 19–36.
- [48] *Social norms and energy conservation.* **Allcott, Hunt.** s.l. : Elsevier, 2011, Journal of public Economics, Vol. 95, pp. 1082–1095.
- [49] *Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework.* **Huijts, Nicole M. A., Molin, Eric J. E. and Steg, Linda.** s.l. : Elsevier, 2012, Renewable and sustainable energy reviews, Vol. 16, pp. 525–531.
- [50] *Smart grid security: Threats, vulnerabilities and solutions.* **Aloul, Fadi, et al., et al.** 2012, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Vol. 1, pp. 1–6.
- [51] *Electric power transmission: background and policy issues.* **Kaplan, Stan M.** 2009.
- [52] *Smart-grid security issues.* **Khurana, Himanshu, et al., et al.** s.l. : IEEE, 2010, IEEE Security & Privacy, Vol. 8, pp. 81–85.
- [53] *Privacy and the new energy infrastructure.* **Quinn, Elias Leake.** 2009, Available at SSRN 1370731.
- [54] *Toward unified security and privacy protection for smart meter networks.* **Kalogridis, Georgios, et al., et al.** s.l. : IEEE, 2013, IEEE Systems Journal, Vol. 8, pp. 641–654.
- [55] *Security concerns in smart grids: Threats, vulnerabilities and countermeasures.* **Khelifa, Benahmed and Abia, Smahi.** 2015. 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). pp. 1–6.
- [56] *Smart grid cyber security strategy and requirements.* **Lee, Annabelle and Brewer, Tanya.** 2009, Draft Interagency Report NISTIR, Vol. 7628.

- [57] *Analyzing cascading failures in smart grids under random and targeted attacks.* **Ruj, Sushmita and Pal, Arindam.** 2014. 2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. pp. 226–233.
- [58] *Smart grids security challenges: Classification by sources of threats.* **Otuoze, Abdulrahaman Okino, Mustafa, Mohd Wazir and Larik, Raja Masood.** s.l. : Elsevier, 2018, Journal of Electrical Systems and Information Technology, Vol. 5, pp. 468–483.