



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Έξυπνο πλέγμα ενέργειας: Απαιτήσεις, προκλήσεις και εμπειρία καταναλωτών**

**Χρήστος Γ. Ντάλλας**

**Επιβλέπων: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ**

**Οκτώβριος 2015**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Έξυπνο πλέγμα ενέργειας: Απαιτήσεις, προκλήσεις και εμπειρία καταναλωτών

**Χρήστος Γ. Ντάλλας**

**A.M.: 1115200800286**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** **Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή του έξυπνου δικτύου, ενός νέου είδους δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αντικαθιστώντας το σημερινό κλασσικό και απαρχαιωμένο ηλεκτρικό δίκτυο, θα μας δώσει πολλές λύσεις στα προβλήματα που μέχρι στιγμής αδυνατούσαμε να ξεπεράσουμε. Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από δύο κύρια μέρη.

Στο πρώτο κομμάτι υπάρχει η περιγραφή του έξυπνου δικτύου η γενικότερη διαλειτουργικότητά του καθώς και των επιμέρους στοιχείων του, όπως το έξυπνο σπίτι, ο έξυπνος μετρητής. Επιπλέον βλέπουμε τη σημαντικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο έξυπνο δίκτυο, την έννοια της δυναμικής τιμολόγησης, παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι δικτύωσης, καθώς και οι απαιτήσεις και οι προκλήσεις που μπορεί να έχει ένα τέτοιο εγχείρημα.

Στο δεύτερο κομμάτι αναφερόμαστε στον προσδιορισμό της ικανοποίησης του χρήστη ενός τέτοιου δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ερωτηματολογίων μετά το πέρας ενός διαστήματος χρήσης του δικτύου, καθώς και με διάφορους γνωστούς αλγόριθμους μηχανικής μάθησης. Στο τέλος της ενότητας αναλύονται διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

**Θεματική περιοχή:** Έξυπνο Δίκτυο

**Λέξεις κλειδιά:** έξυπνο δίκτυο, δυναμική τιμολόγηση, εμπειρία χρήστη, αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης

## ABSTRACT

The aim of the present graduation thesis, is the description of the smart grid, a new kind of electricity network, which by replacing the current classic and antiquated electricity grid, will give us many solutions to problems we currently were unable to overpass. The graduation thesis consists of two main parts.

In the first part there is a description of the smart grid, its interoperability, and its individual components, such as smart home, smart meter. In addition we see the importance of renewable energy sources into the smart grid, the concept of dynamic pricing, various ways of networking, the requirements and challenges that can have such a venture are presented.

The second part relates to the identification of the user satisfaction of such a network. This is achieved through questionnaires after a period of use of the network, as well as various known machine learning algorithms. At the end of this section, various models to optimize electricity consumption are covered.

**Subject area:** Smart Grid

**Keywords:** smart grid, dynamic pricing, quality of experience, machine learning algorithms, electricity consumption optimization models

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες, Καθ. Λάζαρο Μεράκο και δρ. Διονύση Ξενάκη, για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>10</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>11</b>
1.1 Έξυπνο Δίκτυο Smart Grid.....	12
1.1.1 Περιγραφή .....	12
1.1.2 Λειτουργία .....	12
1.1.3 Απαιτήσεις .....	14
1.1.4 Διαλειτουργικότητα .....	15
1.2 Έξυπνο σπίτι (Smart Home) .....	16
1.2.1 Περιγραφή .....	16
1.2.2 Λειτουργία .....	18
1.2.3 Σημερινά παραδείγματα.....	19
1.3 Έξυπνος Μετρητής (Smart Meter) .....	20
1.3.1 Περιγραφή .....	20
1.3.2 Λειτουργία .....	20
1.3.3 Έξυπνος Μετρητής ως τείχος προστασίας .....	21
1.3.4 Προστασία προσωπικών δεδομένων.....	22
1.4 Έξυπνα δίκτυα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	23
1.4.1 Εισαγωγή - Διεσπαρμένη παραγωγή.....	23
1.4.2 Αιολική Ενέργεια .....	24
1.4.3 Φωτοβολταϊκά.....	26
1.4.4 Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ).....	27
1.5 Οφέλη χρήσης Έξυπνων Δικτύων.....	30
1.5.1 Ιστορική αναδρομή .....	30
1.5.2 Δυναμική Τιμολόγηση.....	31
1.5.3 Οφέλη επιχειρήσεων.....	33
1.5.4 Οφέλη καταναλωτών.....	34
1.5.5 Οφέλη περιβάλλοντος.....	35
1.6 Δικτύωση.....	36
1.6.1 Επικοινωνία μέσω Καλωδίων Ρεύματος (Powerline Communication (PLC)) .....	36
1.6.2 Zigbee.....	38
1.6.3 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks).....	39
1.6.4 Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας ή Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks).....	40
1.7 Απαιτήσεις.....	41
1.7.1 Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service (QoS)).....	42
1.7.2 Διαλειτουργικότητα (Interoperability) .....	42
1.7.3 Επεκτασιμότητα (Scalability).....	42
1.7.4 Ασφάλεια (Security) .....	43
1.7.5 Τυποποίηση (Standardization) .....	43
1.8 Προκλήσεις.....	44
1.8.1 Πολυπλοκότητα (Complexity).....	44
1.8.2 Αποδοτικότητα (Efficiency).....	45
1.8.3 Αξιοπιστία (Reliability).....	45
1.8.4 Ασφάλεια (Security) .....	45
<b>2. USER SATISFACTION, ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> .....	<b>47</b>
2.1 User Satisfaction (QoE) .....	47
2.1.1 Περιγραφή .....	47
2.1.2 Αναγκαιότητα μέτρησης QoE .....	48
2.1.3 Τρόποι μέτρησης .....	49
2.2 Το πείραμα της Ομάχα .....	50

2.2.1 Καθορισμός χαρακτηριστικών πειράματος.....	51
2.2.2 Επιλογή ατόμων .....	52
2.2.3 Συλλογή και αξιολόγηση δεδομένων .....	53
2.2.4 Θετικές εμπειρίες .....	56
2.2.5 Αρνητικές εμπειρίες.....	57
2.2.6 Ανάμεικτες εμπειρίες/περιορισμοί .....	58
2.2.7 Χρήσιμα συμπεράσματα .....	59
<b>2.3 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης.....</b>	<b>61</b>
2.3.1 Support Vector Machine .....	61
2.3.2 Multilayer Perceptron.....	63
2.3.3 Naive Bayes.....	63
<b>2.4 Πείραμα Σύγκρισης Αλγορίθμων SVM, MLP, NB.....</b>	<b>64</b>
2.4.1 Πρώτο στάδιο πειράματος: Σύγκριση απόδοσης των αλγορίθμων SVM, MLP, NB.....	65
2.4.2 Δεύτερο στάδιο πειράματος: Αριθμός δειγμάτων εκμάθησης σε σχέση με ακρίβεια πρόβλεψης .....	66
2.4.3 Τρίτο στάδιο πειράματος: Διακύμανση στην ακρίβεια πρόβλεψης για τους SVM, MLP, NB.....	67
2.4.4 Συμπεράσματα .....	68
<b>2.5 Μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης .....</b>	<b>69</b>
2.5.1 MREODP (Modeling for Residential Electricity Optimization in Dynamic Pricing Environments).....	70
2.5.2 IMEM (Intelligent home energy management system to improve demand response).....	71
2.5.3 GABOAE (Genetic-algorithm-based optimization approach for energy Management) .....	73
2.5.4 AIHEMDR (Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response analysis) .....	77
2.5.5 DSMSGH (Demand Side Management in Smart Grid using Heuristic optimization) .....	78
2.5.6 OPSSG (Optimal Power Scheduling for Smart Grids) .....	79
<b>3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>81</b>
<b>ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....</b>	<b>82</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>84</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1: Διάγραμμα έξυπνου δικτύου
- Εικόνα 2: Άντληση ενέργειας από διάφορους πόρους
- Εικόνα 3: Τομείς έξυπνου δικτύου
- Εικόνα 4: Διάγραμμα νοητών περιοχών έξυπνου δικτύου
- Εικόνα 5: Έξυπνο σπίτι
- Εικόνα 6: Παράδειγμα τεχνολογίας έξυπνου σπιτιού
- Εικόνα 7: Έξυπνος μετρητής
- Εικόνα 8: Διασύνδεση έξυπνου σπιτιού στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω διαδικτύου
- Εικόνα 9: Διεσπαρμένη παραγωγή
- Εικόνα 10: Αιολική παραγωγή ενέργειας
- Εικόνα 11: Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Εικόνα 12: Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)
- Εικόνα 13: Διάγραμμα απόδοσης ΣΗΘ
- Εικόνα 14: Μεταφορά από την κλασσική σε διεσπαρμένη παραγωγή
- Εικόνα 15: Οφέλη επιχειρήσεων από χρήση έξυπνων δικτύων
- Εικόνα 16: Οφέλη καταναλωτή από χρήση έξυπνων δικτύων
- Εικόνα 17: Οφέλη περιβάλλοντος από χρήση έξυπνων δικτύων
- Εικόνα 18: Διάγραμμα επικοινωνίας μέσω Καλωδίων Ρεύματος (PLC)
- Εικόνα 19: Σύστημα PLC
- Εικόνα 20: Zigbee
- Εικόνα 21: Διασύνδεση μέσω Zigbee
- Εικόνα 22: Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks)
- Εικόνα 23: Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας ή Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks)
- Εικόνα 24: Μορφολογία Cellular Networks
- Εικόνα 25: User Satisfaction (QoE)
- Εικόνα 26: Τρόποι μέτρησης QoE
- Εικόνα 27: Επιλογή ατόμων πειράματος
- Εικόνα 28: Θετικές εμπειρίες πειράματος
- Εικόνα 29: Αρνητικές εμπειρίες πειράματος
- Εικόνα 30: Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης
- Εικόνα 31: Μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αριθμός ολοκληρωμένων ερωτηματολογίων κατά τη διάρκεια και στο τέλος του πειράματος

Πίνακας 2: Χρήστες που εξέφρασαν την αρέσκεια τους έχοντας τη δυνατότητα να δουν την κατανάλωση κάθε ηλεκτρικής συσκευής

Πίνακας 3: Χρήστες που δήλωσαν ότι κοιτούσαν τη συσκευή όχι τόσο συχνά όσο στην αρχή του πειράματος

Πίνακας 4: Χρήστες που κοιτούσαν καθημερινά τη συσκευή

Πίνακας 5: Ποσοστά επιτυχημένης πρόβλεψης των τριών αλγορίθμων

Πίνακας 6: Συνολική ακρίβεια σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να την εκμάθηση του αλγορίθμου

Πίνακας 7: Εύρος στην ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να την εκμάθηση του αλγορίθμου

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας στο τμήμα της Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου. Ο υπεύθυνος της πτυχιακής μου εργασίας, Καθηγητής Λάζαρος Μεράκος, με παρότρυνε να μελετήσω το θέμα των έξυπνων δικτύων, δεδομένης της ραγδαίας ανάπτυξης των έξυπνων τεχνολογιών, που ολοένα και περισσότερο εισχωρούν στην καθημερινότητά μας.

Πέραν της ανάπτυξης του θεωρητικού υπόβαθρου, γίνεται λεπτομερής προσέγγιση στην πλευρά του χρήστη του έξυπνου δικτύου, ίσως του πιο σημαντικού παράγοντα προς ανάλυση, για τη διασφάλιση της καθιέρωσης ενός τέτοιου δικτύου.

Για το λόγο αυτό η πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε δυο μέρη:

- Στο πρώτο μέρος που περιλαμβάνει το κεφάλαιο 1, υπάρχει η περιγραφή του έξυπνου δικτύου.
- Στο δεύτερο μέρος που περιλαμβάνει το κεφάλαιο 2, αναφερόμαστε στον προσδιορισμό της ικανοποίησης του χρήστη ενός τέτοιου δικτύου.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εποχή μας χαρακτηρίζεται από μεγάλες και απίστευτα γρήγορες αλλαγές στον τρόπο ζωής. Η πίεση για αλλαγή δημιουργεί ανάγκες για ακόμα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε μια εποχή μάλιστα που επικρατεί μεγάλη αβεβαιότητα στον ενεργειακό τομέα. Οι ορυκτές πηγές καυσίμου τείνουν διαρκώς να μειώνονται, με τις τιμές σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο να έχουν μεγάλες διακυμάνσεις.

Η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν ένα αναγκαίο μέτρο, αλλά η χρήση τους ακόμα δεν είναι στη βέλτιστη μορφή της, παρουσιάζοντας διακυμάνσεις στην απόδοσή τους, λόγω της άμεσης εξάρτησής τους από τα καιρικά φαινόμενα, καθιστώντας τους αναξιόπιστες ως κύριο μέσο παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον ο κύριος όγκος παραγωγής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών, βρίσκεται σε απομακρυσμένα σημεία, κάνοντας δύσκολη την αμεσότητα στη χρησιμοποίησή τους.

Έτσι λοιπόν οδηγούμαστε στην ανάγκη για αλλαγή του υπάρχοντος δικτύου. Από ένα δίκτυο όπου η παραγωγή είναι συγκεντρωμένη, όπου η ισχύς ρέει προς μία κατεύθυνση και οι διαχειριστικές αρχές ελέγχουν το δίκτυο σε ένα «έξυπνο» δίκτυο, όπου η παραγωγή ενέργειας είναι διανεμημένη, όπου υπάρχει μια αμφίπλευρη ροή ισχύς και οι αρχές ή εταιρείες διαχείρισης είναι απλά ένα κομμάτι ενός "ζωντανού οργανισμού", με απλά επικουρικό και ρυθμιστικό ρόλο, χωρίς να έχουν τον έλεγχο του δικτύου.

Με μια πρώτη ματιά αυτός ο τύπος δικτύου φαίνεται απρόβλεπτος και χαοτικός. Όμως, η προσομοίωση ενός έξυπνου δικτύου ή ακόμη καλύτερα η πειραματική έρευνα πιλοτικών εγκαταστάσεων έξυπνων μικροδικτύων θα μπορούσαν να διευκολύνουν τη σταδιακή μετάβαση από το παραδοσιακό στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο.

## **1.1 Έξυπνο Δίκτυο Smart Grid**

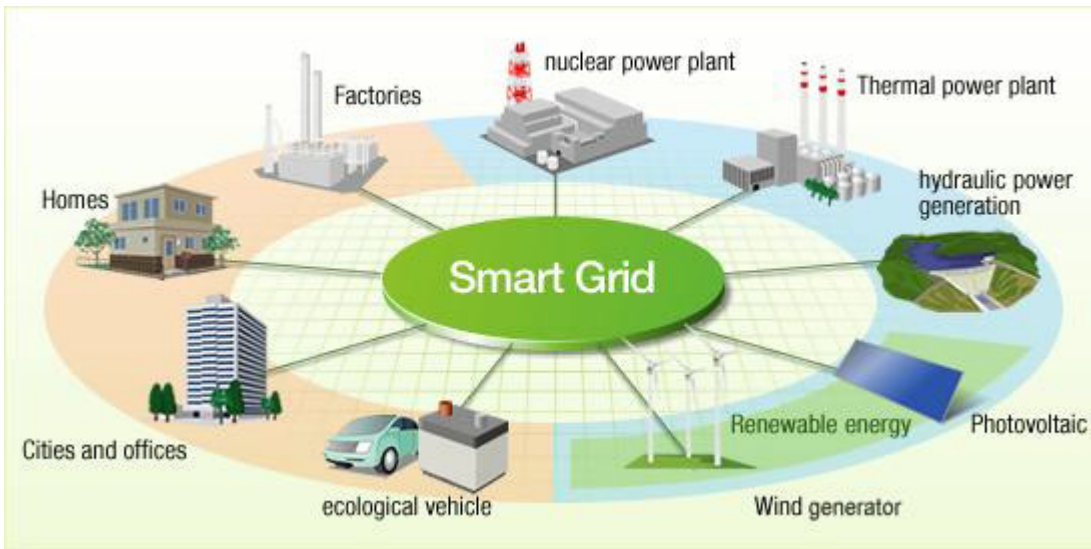
### **1.1.1 Περιγραφή**

Με τον όρο έξυπνο δίκτυο, αναφερόμαστε στην εξελιγμένη γενιά του κλασσικού ηλεκτρικού δικτύου, που χρησιμοποιεί αναλογική ή ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών με σκοπό να συγκεντρώσει και να ενεργήσει με βάση δεδομένα - όπως πληροφορίες σχετικά με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών - με αυτοματοποιημένο τρόπο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας, της οικονομίας, και της βιωσιμότητας της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτή η αμφίπλευρη επικοινωνία καταναλωτή – παραγωγού εισάγει στο κλασσικό δίκτυο τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων επικοινωνιών, προσφέροντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο , επιτρέποντας σχεδόν άμεση ισορροπία στη διαχείριση ζήτησης και προσφοράς, αλλά ταυτόχρονα απαιτώντας μεγάλες υπολογιστικές δυνατότητες, για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ασφάλειας.

### **1.1.2 Λειτουργία**

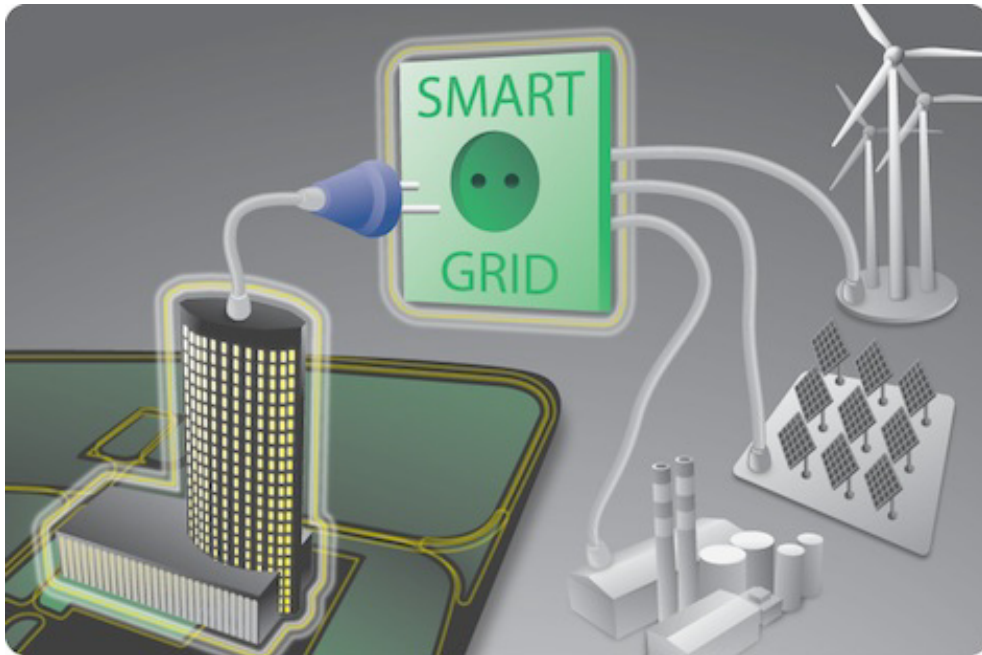
Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει την αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας, με μείωση των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές μέσω της χρήσης τοπικής, αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής σε μεγαλύτερο βαθμό. Καθώς αυξάνεται το μερίδιο παραγωγής από ποικίλες ανανεώσιμες πηγές, ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να χειριστεί καλύτερα τις αυξομειώσεις του ρεύματος λόγω μη ευνοϊκών καιρικών συνθηκών (άπνοια στην χρήση ανεμογεννητριών και συννεφιά στη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων). Θα επιτρέψει επίσης στα ηλεκτρικά οχήματα να αποθηκεύουν ρεύμα για τις μετακινήσεις τους ή να το πωλούν πίσω στο δίκτυο όταν αυτό απαιτείται.



**Εικόνα 1: Διάγραμμα έξυπνου δικτύου**

Ένα έξυπνο δίκτυο ελέγχει εξειδικευμένες συσκευές, τις λεγόμενες έξυπνες συσκευές, στο σπίτι ή το γραφείο του καταναλωτή, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του κόστους παραγωγής, πάντα με διαφανείς μεθόδους επίβλεψης. Παρέχει παρακολούθηση, ασφάλεια και βελτιστοποίηση στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας των διασυνδεδεμένων συσκευών του δικτύου. Καλύπτει όλο το φάσμα της διαδικασίας ηλεκτροδότησης· από την κεντρική μονάδα παραγωγής και τις διάφορες επιμέρους μονάδες ανανεώσιμης ενέργειας, στο δίκτυο μετάδοσης καθώς και το σύστημα διανομής στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις.

Οι έξυπνες τεχνολογίες – συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, των αυτόματων συστημάτων ελέγχου και των ψηφιακών αισθητήρων– θα δείχνουν στους καταναλωτές την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θα τους επιτρέπουν να εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια κλείνοντας ηλεκτρικές συσκευές, συστήματα θέρμανσης και ψύξης ολόκληρων κτιρίων, ή βιομηχανικά φορτία σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ή όταν η τιμή του ρεύματος ξεπερνά ένα προκαθορισμένο ποσό ή όταν υπάρχει πτώση παραγωγής στις μεγάλες αιολικές μονάδες.

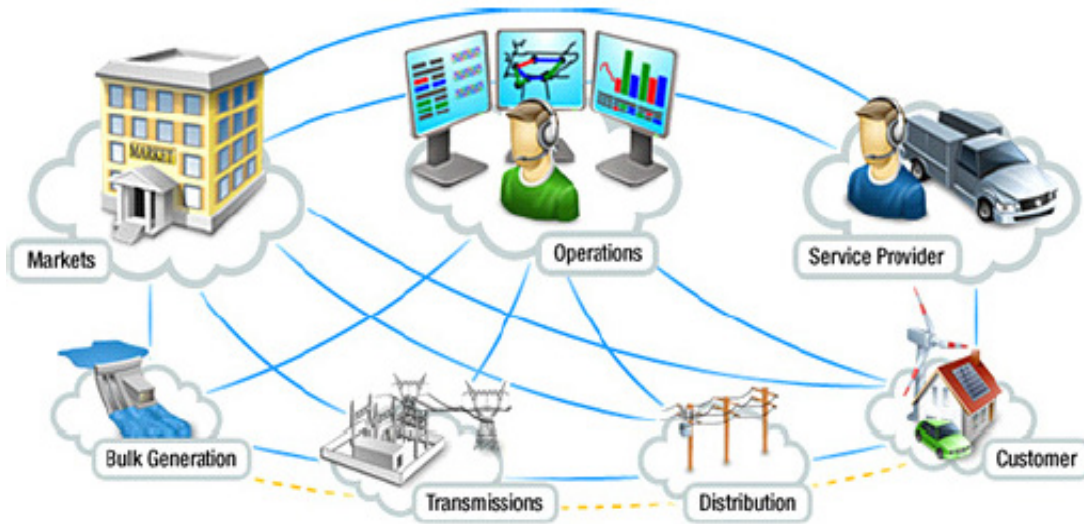


**Εικόνα 2: Άντληση ενέργειας από διάφορους πόρους**

Μπορούν να βοηθήσουν στη μεταφορά φορτίων σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, όταν οι απώλειες των ηλεκτρικών γραμμών είναι μικρότερες και δεν λειτουργούν τα περισσότερο ρυπογόνα και λιγότερο αποδοτικά εργοστάσια. Επίσης, επιτρέπουν στους ελεγκτές του δικτύου να προβλέπουν και να αντιμετωπίζουν άμεσα τα προβλήματα στο δίκτυο. Πιλοτικά προγράμματα έχουν αποδείξει σημαντική εξοικονόμηση για τους καταναλωτές και μειώσεις στη ζήτηση.

### **1.1.3 Απαιτήσεις**

Τα έξυπνα δίκτυα βασίζονται, σε κάποιες τεχνολογίες που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές και ερευνητικές εφαρμογές, όπως υλοποίηση δικτύων με χρήση αισθητήρων και ασύρματα δίκτυα στις τηλεπικοινωνίες, υλοποιώντας τις τεχνολογίες αυτές, με ένα νέο και έξυπνα διασυνδεδεμένο μοντέλο. Οι τεχνολογίες επικοινωνίας έξυπνων δικτύων, μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής 4 κύριες κατηγορίες: προηγμένα εξαρτήματα, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες του δικτύου, εξελιγμένες διασυνδέσεις και υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων και ολοκλήρωση επικοινωνιών.



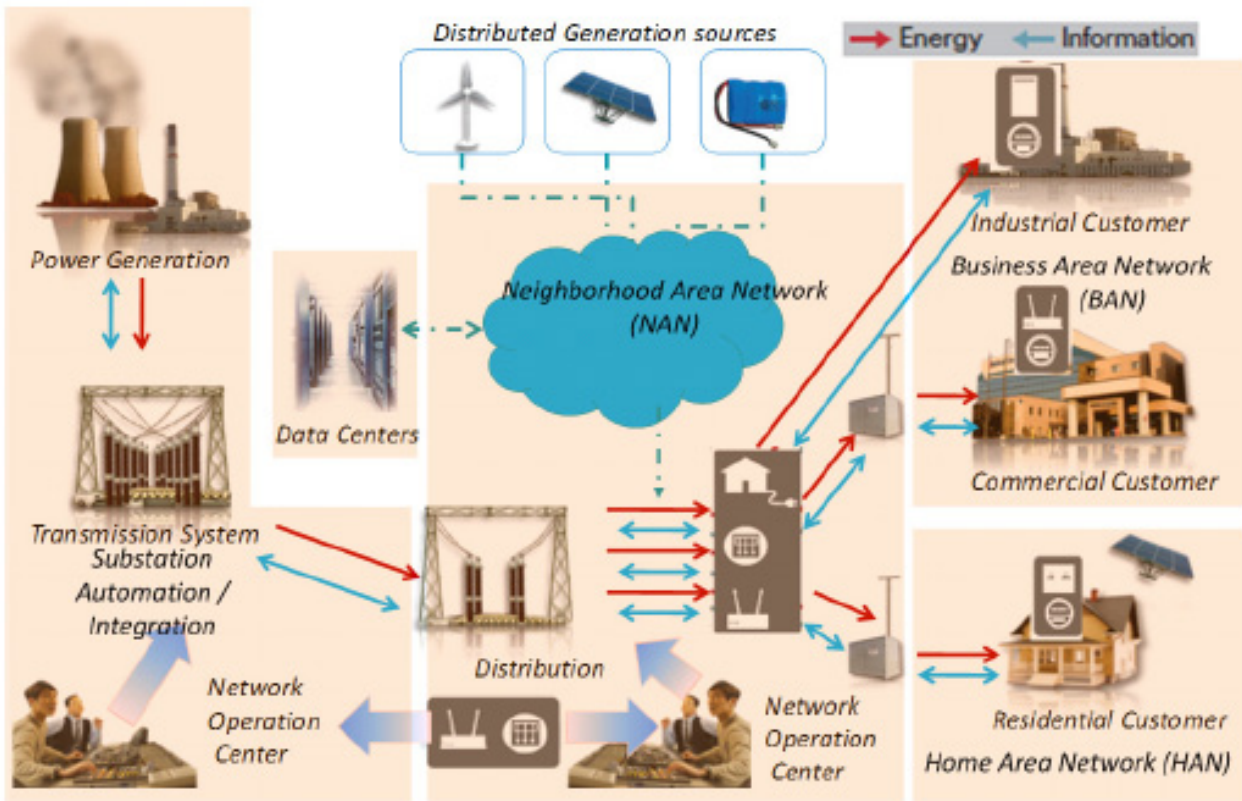
Εικόνα 3: Τομείς έξυπνου δικτύου

Ο ακρογωνιαίος λίθος των έξυπνων δικτύων, είναι η ικανότητα διαχείρισης πολλαπλών καταχωρήσεων σε αυτό, όπως διαλειτουργικότητα εξελιγμένων συσκευών, σωστή λειτουργία εξειδικευμένου λογισμικού, επικοινωνία και συντονισμός με κέντρο ελέγχου και υποσταθμούς. Όσο περισσότερα δεδομένα και λειτουργίες εισάγονται, τόσο περισσότερο αναδεικνύεται η ανωτερότητά του, έναντι του κλασσικού, υπάρχοντος δικτύου ηλεκτροδότησης.

Η διαχείριση όμως μιας τέτοιας πολυπλοκότητας, απαιτεί και μια πολύ προσεγγμένη αρχιτεκτονική. Για να χτιστεί ένα τέτοιο εγχείρημα, τέτοιου εύρους, είναι απαραίτητα κάποια “δομικά υλικά”, όπως ο καθορισμός κάποιων κανόνων και η συμφωνία εφαρμογής τους από τους χρήστες, καθώς και κάποιες αναγκαίες τεχνολογικές κατευθύνσεις.

#### 1.1.4 Διαλειτουργικότητα

Με τον όρο διαλειτουργικότητα, αναφερόμαστε στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα έξυπνα δίκτυα. Ένα έξυπνο δίκτυο, καλύπτει ένα ευρύ φάσμα λειτουργίας, που επεκτείνεται από το κοινό οικιακό σπίτι, έως και το απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου, όπου οι πληροφορίες που καταφθάνουν, ταξινομούνται, αναλύονται και χρησιμοποιούνται για να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις με στόχο την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 4: Διάγραμμα νοητών περιοχών έξυπνου δικτύου

Για καλύτερη κατανόηση ενός έξυπνου δικτύου, μπορούμε να το χωρίσουμε νοητά σε περιοχές. Ξεκινώντας από “μέσα προς τα έξω” έχουμε την εμβέλεια του σπιτιού (Home Area Network (HAN)), των πλησιέστερων σπιτιών της περιοχής (Neighborhood Area Network (NAN)), της ευρύτερης περιοχής (Field Area Network (FAN)), και γενικότερα ολόκληρου του φάσματος κάλυψης (Wide Area Network (WAN)). Χωρίς να υποβαθμιστεί η σημαντικότητα των υπολοίπων τομέων ενός έξυπνου δικτύου, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στον τρόπο λειτουργίας του οικιακού δικτύου, καθώς εκεί βρίσκεται ο πυρήνας του έξυπνου δικτύου.

## 1.2 Έξυπνο σπίτι (Smart Home)

### 1.2.1 Περιγραφή

Για να κατανοήσουμε την εικόνα ενός έξυπνου σπιτιού, είναι σαν να ρίχνουμε μια ματιά στο σπίτι του μέλλοντος. Το έξυπνο σπίτι είναι το σπίτι της επόμενης γενιάς, όπως θέλουν να το ονομάζουν οι εταιρείες που μπαίνουν δυναμικά σε αυτήν την αγορά. Κάθε συσκευή του σπιτιού θα είναι δικτυωμένη με κάθε άλλη ενώ όλες θα έχουν πρόσβαση στο



διαδίκτυο. Η φράση “έξυπνο σπίτι” είναι αρκετά διαδεδομένη, αφού χρησιμοποιείται για οποιαδήποτε οικία ενσωματώνει - σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό - τη δυνατότητα ρύθμισης ορισμένων παραμέτρων. Στα αγγλικά η συγκεκριμένη τεχνολογία συναντάται με τους όρους “smart home” και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει οποιοδήποτε σπίτι διαθέτει κάποιου είδους “τεχνητή νοημοσύνη”. Μέσω αυτής, το εγκατεστημένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει αυτόματα το οικιακό περιβάλλον, σύμφωνα με τις προκαθορισμένες επιθυμίες του ιδιοκτήτη.

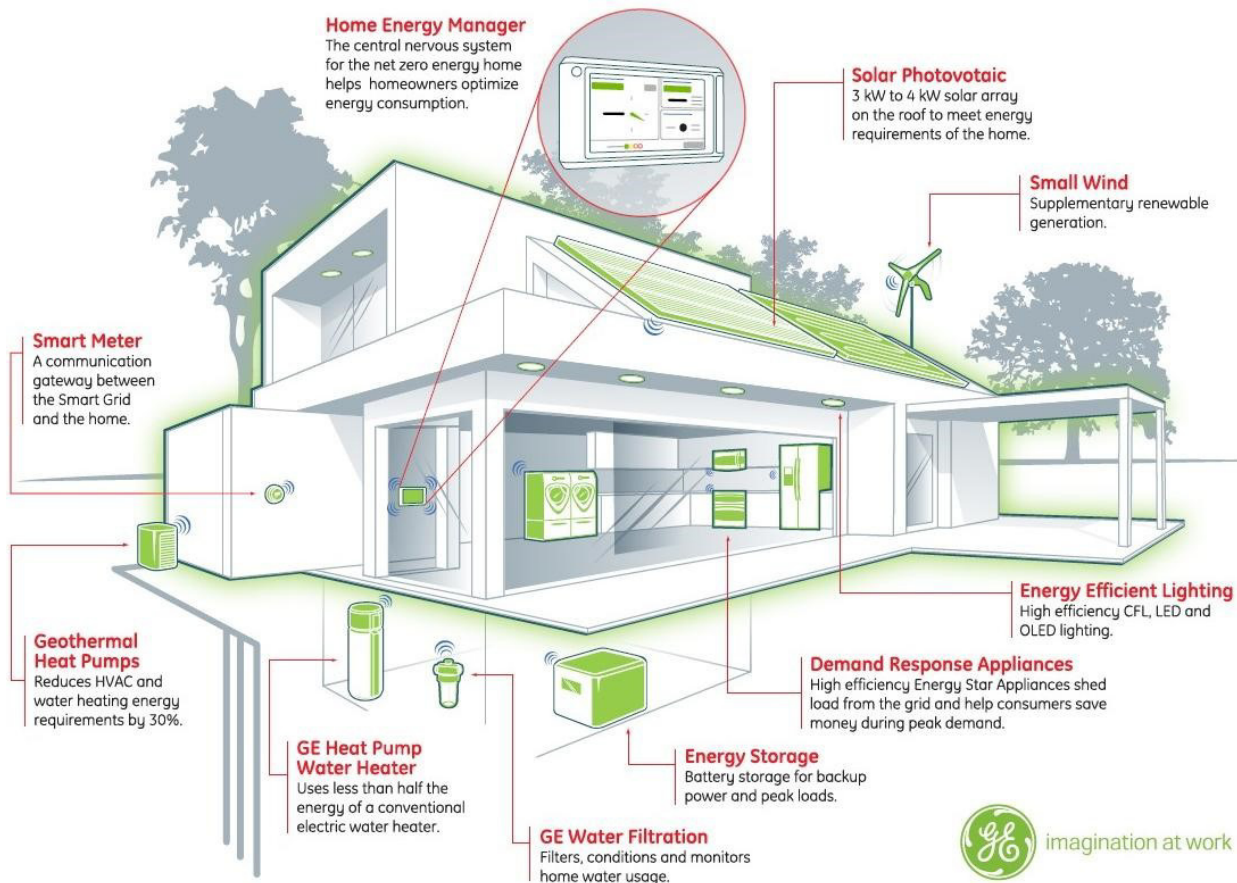


**Εικόνα 5: Έξυπνο σπίτι**

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, θα πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ώστε το σύνολο των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών - ή τουλάχιστον ένα μεγάλο μέρος τους - να επικοινωνούν μεταξύ τους, λαμβάνοντας και αποστέλλοντας εντολές. Στο σημείο αυτό, η τεχνολογία έχει αναπτύξει πολλά ανταγωνιστικά πρότυπα, τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικό συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Αξίζει να σημειώσουμε ότι στο ορατό μέλλον οι οικιακές συσκευές θα ενσωματώνουν εκ κατασκευής κάποιο μικροεπεξεργαστή, που θα τους επιτρέπει την επικοινωνία και αλληλεπίδραση με τον υπόλοιπο εξοπλισμό.

## 1.2.2 Λειτουργία

Σε γενικές γραμμές, η τεχνολογία Smart Home μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση ορισμένων καθημερινών λειτουργιών του σπιτιού ή για την επίτευξη βελτιωμένης ευχρηστίας και αυξημένων δυνατοτήτων στις υπάρχουσες οικιακές συσκευές.



Εικόνα 6: Παράδειγμα τεχνολογίας έξυπνου σπιτιού

Οι λειτουργίες που μπορεί να ενσωματώνει ένα έξυπνο σπίτι αφορούν στο σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (διασκέδαση, εργασία, καθημερινές ασχολίες), με τις δυνατότητες να είναι άπειρες. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του ύπνου το έξυπνο σπίτι θα μπορούσε να ελέγχει τη θερμοκρασία και να τη ρυθμίζει στη βέλτιστη για τον ιδιοκτήτη τιμή, να παρακολουθεί μέσω Internet το δελτίο καιρού ώστε να σχεδιάζει το πότισμα ή μη του κήπου, ακόμη και να λειτουργεί ενεργοβόρες οικιακές συσκευές κατά το βραδινό, φθινό τιμολόγιο ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν το σπίτι είναι άδειο, μπορεί να απενεργοποιεί τις περιττές λειτουργίες ώστε να εξοικονομείται ενέργεια, κρατώντας τις απαραίτητες όμως ενεργές (ψυγείο, φώτα εξωτερικού διαδρόμου) αλλά και να ενεργοποιεί άλλες όπως το σύστημα συναγερμού. Τέλος, όταν οι ιδιοκτήτες λείπουν για διακοπές, θα μπορούσε να

ελέγχει την ομαλή λειτουργία κάθε υποσυστήματος και να αποστέλλει λεπτομερή μηνύματα μέσω e-mail στους ιδιοκτήτες, περιγράφοντας κάθε πρόβλημα που μπορεί να προκύψει.

Σημαντικό, επίσης, στοιχείο της τεχνολογίας είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος που προσφέρει, επιτρέποντας έτσι στους ενοίκους να επεμβαίνουν στη λειτουργία του από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί μέσω τηλεφώνου με αναγνώριση των φωνητικών εντολών που δίνονται ή με τη χρήση του αριθμητικού πληκτρολόγιου στις ψηφιακές τηλεφωνικές συσκευές. Ένα παράδειγμα, είναι η απομακρυσμένη απενεργοποίηση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, όταν πληροφορηθούμε ότι το downloading που του έχει ανατεθεί, έχει τελειώσει. Εναλλακτικά, πολλά συστήματα προσφέρουν τον απόλυτο έλεγχο του σπιτιού μέσω του Διαδικτύου, με τη δημιουργία ενός εύχρηστου γραφικού περιβάλλοντος που αντιπροσωπεύει το σύνολο του οικιακού εξοπλισμού.

### **1.2.3 Σημερινά παραδείγματα**

Η τεχνολογία Smart Home δεν είναι κάτι καινούριο, ενώ οι περισσότεροι άνθρωποι, κυρίως στο εξωτερικό επωφελούνται ήδη από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι διάφοροι χρονοδιακόπτες για τον έλεγχο του φωτισμού και άλλων συσκευών καθώς και οι θερμοστάτες, που στόχο έχουν τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σπιτιού στα επιθυμητά επίπεδα. Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα στην αυτοματοποίηση μιας διαδικασίας, πολλές οικογένειες που βρίσκονται σήμερα σε διακοπές, χρησιμοποιούν στα σπίτια τους χρονοδιακόπτες που αναβοσβήνουν τυχαία τα φώτα, σε μία προσπάθεια αποθάρρυνσης των επίδοξων διαρρηκτών. Η προσομοίωση μπορεί να πάει ακόμα παραπέρα, καθώς ένας έξυπνος μετρητής, μπορεί να χρησιμοποιήσει μοτίβα λειτουργίας από την καθημερινή χρήση του καταναλωτή, που θα ανασύρει από τη βάση δεδομένων του. Άλλο τυπικό παράδειγμα βασικής αυτοματοποίησης λειτουργιών των ημερών μας, είναι η διασύνδεση των παραθύρων του σπιτιού με ένα αστρονομικό ρολόι, το οποίο υπολογίζοντας το πρώτο φως του ηλίου με βάση τη γεωγραφική μας θέση, ανοίγει τις κουρτίνες την κατάλληλη ώρα.

## **1.3 Έξυπνος Μετρητής (Smart Meter)**

### **1.3.1 Περιγραφή**

Ένας έξυπνος μετρητής είναι μία συσκευή η οποία μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται στέλνοντας ταυτόχρονα τις πληροφορίες που συγκεντρώνει στο σύστημα, οι οποίες έπειτα από αξιολόγηση, καταλήγουν στον πελάτη, ενημερώνοντας τον για την εκάστοτε κατανάλωση του και το αντίστοιχο κόστος αυτής σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, δυνατότητα δηλαδή εκτός από την αποστολή δεδομένων, και την λήψη εντολών. Αποτελούν έναν οικονομικό τρόπο για μέτρηση και παρακολούθηση της κατανάλωσης, που επιτρέπει την καλύτερη ρύθμιση της παραγωγής βασιζόμενη σε ημερήσια δεδομένα πραγματικού χρόνου (εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων-μικρότερες επενδύσεις σε δίκτυα διανομής). Στόχος είναι με τους έξυπνους μετρητές, οι χρεώσεις στους καταναλωτές, να μην γίνονται βάσει εκτιμήσεων, αλλά βάση του ακριβούς ποσού ενέργειας που έχει καταναλωθεί .

### **1.3.2 Λειτουργία**

Οι έξυπνοι μετρητές θα έχουν την δυνατότητα να μετρούν άμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και να μεταδίδουν τις μετρήσεις στις βάσεις δεδομένων στο κέντρο διαχείρισης. Ο καταναλωτής μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να έχει γνώση της πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενημέρωση του καταναλωτή μπορεί να γίνεται με ευκολία στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή του, εφόσον υπάρχει ασύρματη σύνδεση μεταξύ υπολογιστή και μετρητή. Η συνεχής ενημέρωση του καταναλωτή αποσκοπεί στη μείωση χρήσης κάποιων ηλεκτρικών συσκευών, οι οποίες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Γι' αυτό το λόγο λοιπόν, μέσα στα επόμενα χρόνια, οι μετρητές θα αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά ρολόγια. Θα τοποθετούνται στο εσωτερικό της οικίας και όχι εξωτερικά στην είσοδο της πολυκατοικίας όπως γίνεται μέχρι σήμερα. Αυτό διότι, δεν θα χρειάζεται πλέον να είναι προσβάσιμοι από τα συνεργεία της ΔΕΗ και τους εξωτερικούς εργολάβους για την καθιερωμένη καταμέτρηση, καθώς με την εγκατάστασή τους σταματά το σημερινό καθεστώς ελέγχου των ρολογιών και έκδοσης «έναντι» λογαριασμών. Κάθε μετρητής θα αποστέλλει αυτόματα τα στοιχεία της κατανάλωσης του κατόχου του (πιθανότατα μέσω ασύρματου δικτύου εταιρείας κινητής τηλεφωνίας, με την οποία η ΔΕΗ θα συνάψει

σύμβαση) σε έναν κεντρικό υπολογιστή της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού που θα τα συλλέγει και θα τα επεξεργάζεται.



Εικόνα 7: Έξυπνος μετρητής

Παράλληλα η ΔΕΗ θα μπορεί να εφαρμόσει χρονομεταβλητά τιμολόγια, δηλαδή υψηλότερα για όσους «καίνε» ρεύμα κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου και χαμηλότερα για όσους περιορίζουν εκείνες τις ώρες την κατανάλωσή τους. Και αυτό διότι θα μπορεί στο εξής να γνωρίζει «on line» τις ώρες κατά τις οποίες καταναλώνει περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια κάθε πελάτης της. Πληροφορία που δεν είναι σε θέση να έχει με το σημερινό σύστημα.

### 1.3.3 Έξυπνος Μετρητής ως τείχος προστασίας

Όπως αναφέραμε παραπάνω, όλα τα δεδομένα που προκύπτουν από τη χρήση των συσκευών ενός οικιακού σπιτιού, αποστέλλονται από τον έξυπνο μετρητή στους παρόχους. Είναι ευνόητο λοιπόν, ότι πρέπει να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα και η ασφάλεια των δεδομένων αυτών. Ο έξυπνος μετρητής λοιπόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα τείχος προστασίας που διευθύνει την εισερχόμενη και εξερχόμενη κυκλοφορία, διασφαλίζοντας την ιδιωτική ζωή των ιδιοκτητών-χρηστών και την ακεραιότητα των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται. Λειτουργεί ως μεσολαβητής για να μεταφέρει τις οδηγίες

του ηλεκτρικού παρόχου (electric utility) προς τις έξυπνες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσίας (service providers) να παρακολουθούν και να προσφέρουν τεχνική βοήθεια στους πελάτες τους χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επιτυγχάνονται εγκαθιδρύοντας μια σχέση εμπιστοσύνης μεταξύ ηλεκτρικού παρόχου και έξυπνου μετρητή.

### 1.3.4 Προστασία προσωπικών δεδομένων

Όπως προαναφέραμε, το Smart Grid, είναι ουσιαστικά η γεφύρωση των δύο άκρων του εσωτερικού κόσμου (Home Area Network (HAN)), που αποτελείται από τις επικοινωνίες μεταξύ των έξυπνων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, και του εξωτερικού κόσμου (Wide Area Network (WAN)), που αποτελείται από τις επικοινωνίες μεταξύ των νοικοκυριών, των παρόχων και των διαχειριστών του συστήματος.

Ο έξυπνος μετρητής θα προστατεύει την ιδιωτική ζωή των χρηστών αποκρύπτοντας ατομικά στοιχεία από τον ηλεκτρικό πάροχο. Οι πελάτες θα είναι αυτοί που θα αποφασίζουν την προτεραιότητα κάθε συσκευής τους, αφού ο ηλεκτρικός πάροχος, θα αναζητά τον έξυπνο μετρητή ώστε να μειώσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και να αποφασίσει ποιες οικιακές συσκευές να κλείσει ή να περιορίσει τη λειτουργία τους, αντί να ελέγχει άμεσα τις οικιακές συσκευές.



**Εικόνα 8: Διασύνδεση έξυπνου σπιτιού στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω διαδικτύου**

Ακόμη, ο έξυπνος μετρητής θα χρησιμοποιείται για να επικοινωνεί με τους παρόχους υπηρεσίας, οι οποίοι έχουν υπογράψει συμβόλαιο για να συντηρούν

συγκεκριμένες ηλεκτρικές συσκευές. Δηλαδή, θα καταγράφει και θα ζευγαρώνει έναν πάροχο υπηρεσίας με τις αντίστοιχες συσκευές για να δημιουργήσει ένα μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ τους. Θα παρέχει μηνύματα μόνο μεταξύ των παρόχων υπηρεσίας που έχουν υπογράψει συμβόλαιο με τις οικιακές συσκευές για τις οποίες είναι υπεύθυνοι. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να εκπέμψει μηνύματα λάθους (error messages) σε ένα συγκεκριμένο και πιστοποιημένο για την αυθεντικότητά του μηχανικό υπηρεσίας μέσω του έξυπνου μετρητή.

Ο ηλεκτρικός πάροχος θα στέλνει οδηγίες σχετικές με την κατανάλωση προς τους έξυπνους μετρητές και θα συλλέγουν από αυτούς στοιχεία κατανάλωσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής, ο ηλεκτρικός πάροχος θα καθοδηγεί τους έξυπνους μετρητές να περιορίσουν τις καταναλώσεις τους, προμηθεύοντάς τους με κίνητρα. Μετά, θα αποτελεί ευθύνη του έξυπνου μετρητή να διακανονίσει τη λειτουργία των οικιακών συσκευών του. Αυτή η προσέγγιση κρύβει τις ιδιωτικές συσκευές από τον πάροχο και προστατεύει την ιδιωτική ζωή των χρηστών.

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

## **1.4 Έξυπνα δίκτυα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

### **1.4.1 Εισαγωγή - Διεσπαρμένη παραγωγή**

Άμεση σχέση με την έννοια του έξυπνου δικτύου έχει και η υλοποίηση της πολιτικής της Διεσπαρμένης Παραγωγής.

Η Διεσπαρμένη Παραγωγή ορίζεται ως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας, με τιμές που κατά κανόνα κυμαίνονται από 1kW μέχρι 100MW και είναι μία σχετικά καινούρια τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο απλά όταν αναφερόμαστε στη Διεσπαρμένη Παραγωγή εννοούμε ότι μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν εγκατασταθεί κοντά στο σημείο κατανάλωσης (φορτίο).

Η εφαρμογή της Διεσπαρμένης Παραγωγής περιλαμβάνει επίσης μια εκτεταμένη εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια,

η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια των ωκεανών, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα περιλαμβάνονται σε αυτού του είδους τις πηγές. Μαζί με άλλες «καθαρές» τεχνολογίες, όπως οι κυψέλες καυσίμου, υπόσχονται να έχουν μικρό αντίκτυπο στο περιβάλλον.



**Εικόνα 9: Διεσπαρμένη παραγωγή**

Στον νέο τύπο δικτύου ηλεκτροδότησης οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παίζουν καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Η αξιοπιστία και η ποιότητα του όλου συστήματος θα πρέπει να διασφαλιστεί με κάθε μέσο.

### **1.4.2 Αιολική Ενέργεια**

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπιας μορφής ενέργεια" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200 – 400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή – και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες – για την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».





**Εικόνα 10: Αιολική παραγωγή ενέργειας**

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Από την άλλη μπορούν να εντοπιστούν και μειονεκτήματα σε αυτή τη χρήση ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών γιατί τα ενδημικά «συνηθίζουν» την παρουσία των μηχανών και τις αποφεύγουν. Γι' αυτό καλύτερα να μην κατασκευάζονται αιολικά πάρκα σε δρόμους μετανάστευσης πουλιών. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ (Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας) θα πρέπει να έχει προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Πάντως η συχνότητα ατυχημάτων πουλιών σε αιολικά πάρκα είναι πολύ μικρότερη αυτής των ατυχημάτων με αυτοκίνητα. Επιπλέον, για τη δημιουργία αιολικών πάρκων θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η επιβάρυνση που θα προκληθεί στην τοποθεσία, διότι για να χτιστεί η εγκατάσταση θα πρέπει να κοπούν δέντρα η γενικώς να καταστραφεί μέρος της γης στην οποία θα γίνει το εγχείρημα. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου

εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) τα παραπάνω προβλήματα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί.

### 1.4.3 Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία διαχειρίζονται το ρεύμα που παράγεται από την ηλιακή διάταξη. Σε αυτόνομα συστήματα, υπάρχει επίσης ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί μπαταρίες.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν μια ενδεχομένως καθαρή, αξιόπιστη, και φιλική προς τον καταναλωτή Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας, ικανή να αποτελέσει την αφετηρία για την εκτόπιση των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας. Αρκεί να αναφέρουμε ότι κάθε χρόνο, περίπου χίλιες φορές περισσότερη ενέργεια φτάνει στη γη από τις ακτίνες του ηλίου, σε σχέση με το πόση μπορεί να παραχθεί καίγοντας τα ορυκτές πηγές ενέργειας.



Εικόνα 11: Φωτοβολταϊκά συστήματα

Γνωρίζοντας λοιπόν ότι τη στιγμή που μιλάμε περίπου το 0,1% της παγκόσμιας

παραγωγής οφείλεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, υπάρχει μεγάλο περιθώριο για βελτίωση. Σε αυτό μπορούν να συντελέσουν πολλοί παράγοντες, όπως ότι το κόστος παραγωγής των φωτοβολταϊκών έχει μειωθεί δραματικά λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους πηγών ενέργειας είναι:

- Η ηλιακή ενέργεια είναι δωρεάν – δε χρειάζεται κανένα ορυκτό καύσιμο και δεν μολύνει το περιβάλλον.
- Στις ώρες με αυξημένη ηλιοφάνεια, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τόπους όπου δεν είναι εύκολο να φτάσει το ηλεκτρικό ρεύμα λόγω αποστάσεων.
- Είναι εξυπηρετικές για χρήσεις χαμηλής ισχύος όπως τα ηλιακά φώτα κήπου και τους φορτιστές μπαταρίας.

Μειονεκτήματα:

- Δε δουλεύουν νύχτα λόγω έλλειψης του ηλίου.
- Αναξιόπιστα σε περιοχές με κλίμα χωρίς πολύ ήλιο. Σε περιοχές όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η ηλιακή ενέργεια δε χρησιμοποιείται πολύ για εφαρμογές υψηλής ισχύος, καθώς χρειάζεσαι μια τεράστια περιοχή με ηλιακά πλέγματα για να λάβεις μια αξιοπρεπή ποσότητα ισχύος.

#### **1.4.4 Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)**

Συμπαγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή οικονομικά εκμεταλλεύσιμης ή αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, από την ίδια ενεργειακή πηγή.

Η κεντρική και πλέον βασική αρχή της Συμπαγωγής είναι ότι, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρει, ένα σύστημα ΣΗΘ πρέπει να βασίζεται στην κάλυψη της ζήτησης σε θερμότητας της εγκατάστασης στην οποία εφαρμόζεται. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι τα συστήματα Συμπαγωγής σχεδιάζονται και εγκαθίστανται πλέον για την κάλυψη και ψυκτικών φορτίων (ψύξη, κλιματισμός, κ.λπ.), διευρύνοντας την έννοια της Συμπαγωγής. Η ταυτόχρονη αυτή

παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από την ίδια ενεργειακή πηγή είναι γνωστή ως Τριπαραγωγή.

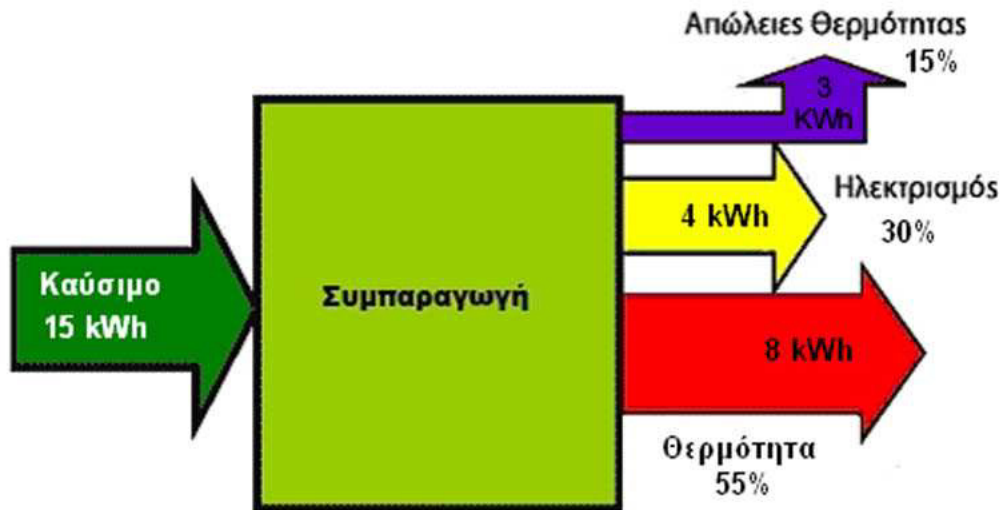


Εικόνα 12: Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)

Τα συστήματα Συμπαράγωγής μπορούν να εγκατασταθούν σε ενεργοβόρες βιομηχανίες, στον τριτογενή τομέα (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μεγάλα κτίρια, αθλητικά κέντρα, κ.λπ.) ή να καλύψουν τις θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες μιας αστικής περιοχής, μέσω συστημάτων τηλεθέρμανσης / τηλεψύξης.

Στις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής το 30-40% της χημικής ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, ενώ το υπόλοιπο 60-70% αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί επωφελώς, είτε σε βιομηχανικές διεργασίες, είτε για την κάλυψη θερμικών φορτίων στον οικιακό ή τριτογενή τομέα, αυξάνοντας το βαθμό εκμετάλλευσης της ενέργειας του καυσίμου στο 85-90% ή και περισσότερο.

Παράλληλα, για συγκεκριμένες (επιθυμητές) ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η συμπαράγωγή προσφέρει εξοικονόμηση καυσίμου μεταξύ 15 και 40%, συγκρινόμενη με την παροχή των ίδιων ποσοτήτων ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και λέβητες.



Εικόνα 13: Διάγραμμα απόδοσης ΣΗΘ

Επιπλέον, τα συστήματα Συμπαραγωγής δίνουν τη δυνατότητα αποκέντρωσης (διασποράς) των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων, με τρόπο που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλώσεων, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας τις απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία του ηλεκτρικού συστήματος μιας περιοχής ή της χώρας.

Πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη μείωση στο κόστος ενέργειας.
- Βελτιωμένη ασφάλεια προμήθειας ενέργειας.
- Μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
- Διατήρηση πολύτιμων πηγών καυσίμων.

Μειονεκτήματα:

- Η ζήτηση ηλεκτρισμού και θερμότητας πρέπει να είναι ταυτόχρονες.
- Υψηλό κόστος συντήρησης.

Άλλες τεχνολογίες συμπαραγωγής είναι:

- ατμοστρόβιλοι
- αεριοστρόβιλοι
- μικροστρόβιλοι
- κυψέλες καυσίμου
- μηχανές Stirling

## 1.5 Οφέλη χρήσης Έξυπνων Δικτύων

### 1.5.1 Ιστορική αναδρομή

Υπήρξαν βέβαια αρκετά στάδια εξέλιξης και πολλοί λόγοι που οδήγησαν στην ανάγκη των έξυπνων δικτύων μέχρι να φτάσουμε στο σημερινό αποτέλεσμα. Το πρώτο σύστημα ηλεκτροδότησης εναλλασσόμενου ρεύματος εγκαθιδρύθηκε το 1886. Τον 20ο αιώνα τα ηλεκτρικά δίκτυα μεγάλωναν διαρκώς για να εξυπηρετήσουν τις μεγάλες ανάγκες που υπήρχαν. Στα τέλη αυτού του αιώνα η εξέλιξή τους είχε φτάσει σε μεγάλα επίπεδα διασύνδεσης, εμπιστευτικότητας και ασφάλειας, παρέχοντας μεγάλο όγκο φορτίου μέσω γραμμών υψηλής τάσης στα αστικά κέντρα καθώς και σε όλη την επικράτεια μέσω μικρότερων διακλαδώσεων. Μεγάλο πρόβλημα αποτελούσαν οι λεγόμενες ώρες αιχμής, κατά τις οποίες η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια ήταν ιδιαίτερα αυξημένη, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ικανοποιηθεί στο ακέραιο, προκαλώντας διακοπές ρεύματος και γενικότερα κακής ποιότητας ηλεκτροδότηση.

Αυτό το πρόβλημα συναντάται έως και τις μέρες μας. Πλέον για την αποφυγή αυτών των δυσάρεστων παρενεργειών της ώρας αιχμής, οι εταιρίες ηλεκτροδότησης, καταφεύγουν σε διάφορες λύσεις όπως η χρήση γεννητριών αιχμής (peaking power generators), που θα λειτουργούν μόνο τις συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Ενέργειες όπως αυτές έχουν και συγκεκριμένα μειονεκτήματα, καθώς η ενεργειακή απαίτηση για την εκκίνηση τέτοιων γεννητριών είναι μεγάλη, δημιουργώντας μεγάλος κόστος που μεταφέρεται εν τέλει στους καταναλωτές, καθώς και επιπλέον επιβάρυνση του οικοσυστήματος.



**Εικόνα 14: Μεταφορά από την κλασσική σε διεσπαρμένη παραγωγή**

Για την ελάττωση αυτού του προβλήματος, υιοθετήθηκαν κάποια μέτρα όπως η μειωμένη χρέωση, κάποιες ώρες της ημέρας που η κατανάλωση είναι ιδιαίτερα χαμηλή, όπως οι πρώτες πρωινές (νυχτερινό ρεύμα).

Η διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας ως μέσο αποσυμφόρησης των ωρών αιχμής, δεν θα μπορούσε να είναι παρά ένα πρόσκαιρο μέτρο και όχι μια μόνιμη λύση. Για την αποτελεσματική και οριστική λύση αυτού του προβλήματος αποδεικνύεται ότι τα κλασσικά και συμβατικά δίκτυα ηλεκτροδότησης δεν μπορούν να δώσουν τη λύση. Έτσι λοιπόν προέκυψε η ανάγκη των έξυπνων δικτύων, που με την αμφίπλευρη, πραγματικού χρόνου διαδραστική επικοινωνία, δίνουν τα εχέγγυα, μιας πραγματικής λύσης.

### **1.5.2 Δυναμική Τιμολόγηση**

Με τον όρο Δυναμική τιμολόγηση (dynamic pricing), αναφερόμαστε σε μια στρατηγική τιμολόγησης, κατά την οποία, επιχειρήσεις θέτουν τιμές προϊόντων και υπηρεσιών που μπορούν να μεταβληθούν, με βάση τη ζήτηση τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην αγορά. Οι επιχειρήσεις αλλάζουν τις τιμές βασισμένες σε αλγόριθμους που προσμετρούν διάφορα δεδομένα, όπως οι τιμές των προϊόντων και υπηρεσιών των ανταγωνιστών, η ζήτηση και η προσφορά, το κόστος για την χρήση των δικτύων, καθώς και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες που επικρατούν εκείνη τη στιγμή. Για κάθε 24ώρο, οι

τιμές ανακοινώνονται από μία μέρα έως και λίγες ώρες πριν.

Με τον τρόπο αυτό, οι καταναλωτές εκτίθενται πλήρως στο ρίσκο της τιμής που διαμορφώνεται ανά ώρα, αλλά γλιτώνουν την χρέωση που θα τους επέβαλλε ο πάροχός τους, εάν αναλάμβανε εκείνος να διαχειριστεί το ρίσκο αυτό.

Τα σημερινά "επίπεδα" τιμολόγια, που δεν μεταβάλλονται με την ώρα κατανάλωσης του ηλεκτρισμού είναι από άποψη οικονομικής αποτελεσματικότητας υποδεέστερα των δυναμικών τιμολογίων, δηλαδή αυτών που μεταβάλλονται σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με το κόστος παραγωγής του ρεύματος.

Με την μετάβαση όμως σε δυναμικά τιμολόγια ορισμένοι από τους καταναλωτές αναμένεται να ωφεληθούν ενώ άλλοι να χάσουν. Αυτοί που θα χάσουν είναι αυτοί των οποίων το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσής τους γίνεται σε ώρες αιχμής. Αυτοί που θα κερδίσουν είναι αυτοί που έχουν "επίπεδη" κατανάλωση, δηλαδή μόνο μικρό μέρος της κατανάλωσής τους γίνεται στην αιχμή. Υπάρχουν επίσης και αυτοί που δεν έχουν ούτε όφελος ούτε ζημία γιατί το προφίλ κατανάλωσής τους ταυτίζεται με την καμπύλη φορτίου και κόστους του συστήματος.

Οι χαμένοι μπορούν να επωφεληθούν (ή να μειώσουν την απώλειά τους) στο μέτρο που μπορούν ή θέλουν να αλλάξουν καταναλωτική συμπεριφορά, πράγμα που είναι λογικά αναμενόμενο να συμβεί (γιατί εκτός των άλλων θα βοηθήσει και η τεχνολογία του έξυπνου δικτύου). Όμως μας ενδιαφέρει να μάθουμε ποιοι είναι αυτοί που θα χάσουν και θα κερδίσουν άμεσα. Διαισθητικά η απάντηση συνάδει με το λαϊκό περί δικαίου αίσθημα. Οι πλούσιοι και οι επιχειρήσεις θα χάσουν (αν υποθέσουμε ότι αυτοί χρησιμοποιούν κυρίως κλιματισμό) και οι κοινόί θνητοί θα ωφεληθούν.

Πιλοτικά προγράμματα στις ΗΠΑ τα τελευταία 10 χρόνια, έχουν δείξει πως το μέγεθος της ανταπόκρισης στην δυναμική τιμολόγηση μπορεί να είναι μεγάλο, αρκεί να δοθούν τα σωστά κίνητρα στους καταναλωτές, μέσω της σωστής και έγκαιρης φυσικά πληροφόρησης.

Η μείωση στην αιχμή που επετεύχθη σε σχέση με την διαφορά τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας συνοψίζονται ως εξής:

- Όταν δίδεται στους καταναλωτές ισχυρό μήνυμα μέσω των τιμών, ανταποκρίνονται μειώνοντας την αιχμή της ζήτησής τους.
- Όσο πιο ισχυρό είναι το μήνυμα τόσο πιο μεγάλη είναι η απόκριση σε μείωση της ζήτησης στη αιχμή.



### 1.5.3 Οφέλη επιχειρήσεων

Η χρησιμοποίηση των έξυπνων δικτύων αποτελεί πλέον ένα σημαντικό εργαλείο για τις εταιρίες ηλεκτροδότησης γιατί τους προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Αρχικά βοηθά στην αύξηση της παραγωγικότητας, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από τις έξυπνες συσκευές ώστε να φέρουν εις πέρας τα καθήκοντά τους πιο αποδοτικά. Ένα άλλο κύριο κομμάτι είναι η δικτυακή υποδομή που προσφέρουν τα έξυπνα δίκτυα, αφού είναι δυνατόν σε πραγματικό χρόνο να αξιοποιούνται και να αξιολογούνται πληροφορίες από τη συνάρτηση ζήτησης (που υπάρχει από τις διάφορες καταναλωτικές περιοχές) και προσφοράς.



**Εικόνα 15: Οφέλη επιχειρήσεων από χρήση έξυπνων δικτύων**

Επιπλέον σε αυτή τη συνάρτηση μπορεί να τοποθετηθεί και ο παράγοντας της κοστολόγησης, με βάση των τιμών που υπάρχουν τη συγκεκριμένη στιγμή στην αγορά, οδηγώντας σε ορθότερη λήψη αποφάσεων και μεγιστοποίησης του κέρδους, χωρίς να επιβαρύνεται περαιτέρω ο καταναλωτής. Ο εντοπισμός μιας βλάβης που μπορεί πλέον να γίνεται ακαριαία, γλυτώνοντας πολλές χαμένες κιλοβατώρες με την άμεση διόρθωσή της, είναι ακόμα ένα σημαντικό στοιχείο. Τέλος με τα στοιχεία που συνεχώς συγκεντρώνονται για τις συνήθειες των καταναλωτών, δημιουργούνται μοντέλα πρόβλεψης, ώστε να μην εφίστανται οι ξαφνικές διακοπές ρεύματος, καθώς και για να αποφεύγεται η σπατάλη για την εκκίνηση των γεννητριών αιχμής και της περισσευούμενης ενέργειας τις ώρες όπου η γενική κατανάλωση είναι πολύ μικρή.

### 1.5.4 Οφέλη καταναλωτών



Εικόνα 16: Οφέλη καταναλωτή από χρήση έξυπνων δικτύων

Εκτός των επιχειρήσεων, σημαντικά πλεονεκτήματα παρουσιάζονται με τη χρήση των έξυπνων δικτύων στους καταναλωτές. Η εμπειρία από τη χρήση τέτοιων δικτύων, έχει αποδειχθεί ότι είναι απόλυτα θετική για τους χρήστες. Οι διακοπές της ηλεκτροδότησης ελαχιστοποιούνται, σχεδόν εκμηδενίζονται και σε περίπτωση που υπάρχει σενάριο για διακοπή, η ενημέρωση είναι άμεση και αρκετά πιο έγκαιρη από ότι πρότινος. Επικουρικό ρόλο σε αυτό παίζει η κατανόηση και η βελτίωση του χειρισμού της κατανάλωσης των ηλεκτρικών συσκευών από τους καταναλωτές, σε συνδυασμό με τα κίνητρα για χαμηλή τιμολόγηση σε εκείνους που τις χρησιμοποιούν αποδοτικά. Επιπλέον δίνονται στους καταναλωτές και άλλες δυνατότητες, όπως ο απομακρυσμένος χειρισμός των συσκευών του και ο προγραμματισμός τους να λειτουργούν σε συγκεκριμένες ώρες, με μεγάλα οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα, να ορίσουν τη διακοπή της λειτουργίας τους, αν ξεπεράσουν ένα συγκεκριμένο τιμολογιακό κόστος, έχοντας έτσι απόλυτο έλεγχο του κόστους χρήσης. Με τη χρήση των έξυπνων δικτύων, ανοίγει ο δρόμος για πολύ καλύτερη απόδοση και διαλειτουργικότητα εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Βάζοντας αυτό στη συνάρτηση, ο καταναλωτής μπορεί ανά πάσα στιγμή να διαλέξει και από ποια εταιρία θα αγοράσει το ηλεκτρικό ρεύμα, με δυνατότητα για πολλαπλά οφέλη, όπως οικονομικά και αξιοπιστίας. Τέλος γίνεται πολύ πιο αποδοτικό ο

κάθε καταναλωτής, να μετατρέπεται εύκολα και άμεσα σε παραγωγό – πωλητή της δικής του παραγόμενης ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες).

### 1.5.5 Οφέλη περιβάλλοντος



Εικόνα 17: Οφέλη περιβάλλοντος από χρήση έξυπνων δικτύων

Δεν πρέπει να ξεχνάμε βέβαια τα θετικότητα μηνύματα που προκύπτουν από τη χρήση τέτοιων τεχνολογιών για το περιβάλλον. Μέσω των έξυπνων δικτύων έχουμε τη δυνατότητα μείωσης, των βλαβερών για το περιβάλλον, εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω ποικίλων τρόπων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η άμεση επιδιόρθωση μιας βλάβης και η αποφυγή παραγωγής του συγκεκριμένου ηλεκτρικού φορτίου, έχει θετικό αντίκτυπο και για το περιβάλλον εκτός από την επιχείρηση. Πάνω σε αυτό προστίθεται και η καλύτερη διαχείριση της παραγωγής της ενέργειας γλιτώνοντας τα πλεονάσματα. Σημαντικότερο ρόλο στην αρμονία των έξυπνων δικτύων με το περιβάλλον, παίζει και η ευκολία της εισαγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

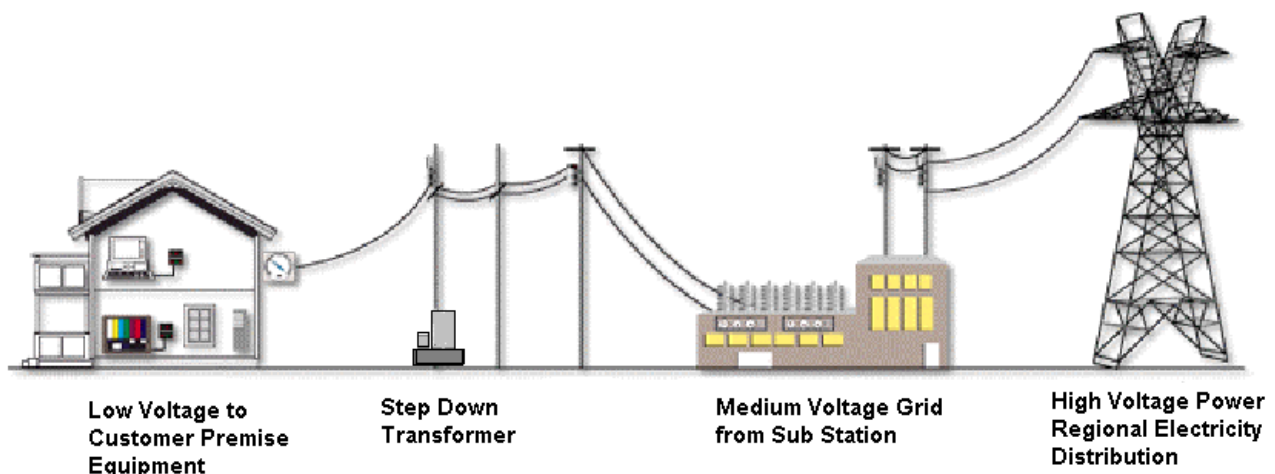
Πλέον λόγω της υψηλής διασύνδεσης και διαλειτουργικότητας, εταιρίες που δραστηριοποιούνται στα φωτοβολταϊκά, την υδροηλεκτρική ενέργεια και την αιολική ενέργεια, ακόμα και μεμονωμένοι ιδιώτες, είναι δυνατόν να παρέχουν στον εκάστοτε κεντρικό φορέα ηλεκτροδότησης, προσφορές της δικής τους ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσο μεγαλώνει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους, τόσο ευεργετείται το περιβάλλον, αφού το αποτύπωμα των ρύπων των εναλλακτικών αυτών μεθόδων είναι μηδαμινό.

## 1.6 Δικτύωση

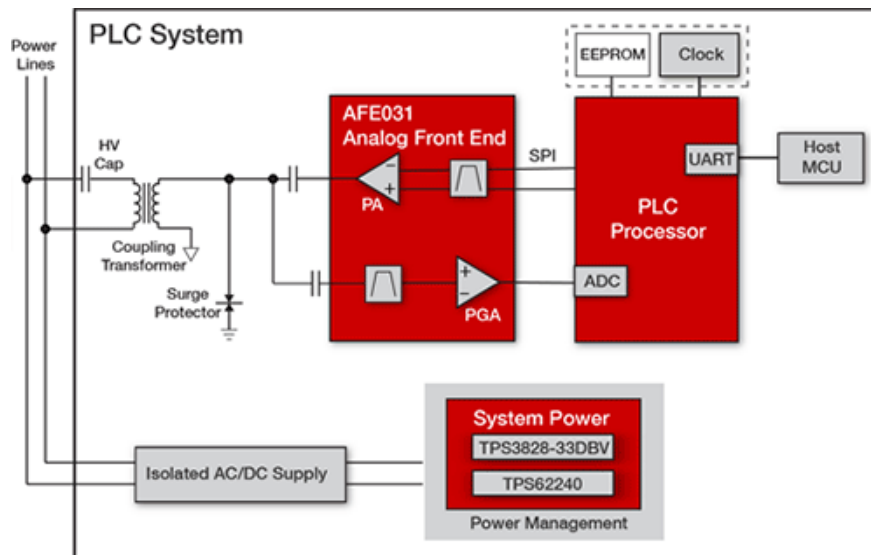
Οι κυριότερες μέθοδοι δικτύωσης που επικρατούν αυτοί τη στιγμή είναι η Επικοινωνία μέσω Καλωδίων Ρεύματος (Powerline Communication (PLC)), το Zigbee, τα Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks) και τα Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας ή Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks).

### 1.6.1 Επικοινωνία μέσω Καλωδίων Ρεύματος (Powerline Communication (PLC))



Εικόνα 18: Διάγραμμα επικοινωνίας μέσω Καλωδίων Ρεύματος (PLC)

Η μέθοδος επικοινωνίας μέσω των καλωδίων ρεύματος, είναι συνήθως η πρώτη επιλογή για τη διασύνδεση των έξυπνων δικτύων, γιατί υπάρχει ήδη έτοιμη η απευθείας σύνδεση με τον μετρητή ενέργειας.



Εικόνα 19: Σύστημα PLC

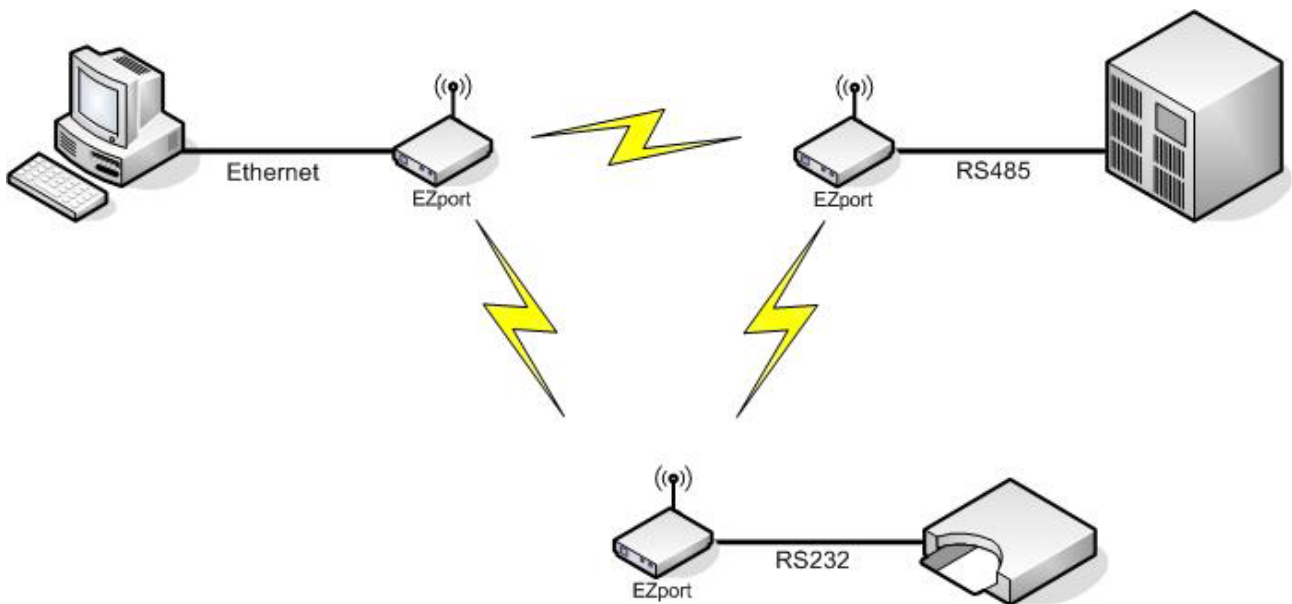
Ένας τέτοιος έξυπνος μετρητής, συνδεδεμένος με τον μετρητή ηλεκτρικού ρεύματος, μεταφέρει τα δεδομένα στο κέντρο ελέγχου για περαιτέρω αξιολόγηση. Μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε δύο υποκατηγορίες· τα Narrowband που χρησιμοποιούνται για πρόσβαση και τα Broadband που κωδικοποιούνται και υπόκεινται σε OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) διαμόρφωση. Υπάρχουν βέβαια κάποια μειονεκτήματα με αυτό τον τρόπο, όπως μεγάλος θόρυβος κατά την επικοινωνία, πράγμα που μπορεί να αλλοιώσει τα δεδομένα και μην φτάσουν ακέραια στον προορισμό τους καθώς και η έλλειψη ασφάλειας κατά τη μεταφορά τους, καθιστώντας τα δεδομένα ευάλωτα σε πιθανή υποκλοπή. Ο πιο αποδοτικός τρόπος χρησιμοποίησης των δικτύων αυτών είναι σε συνδυασμό με τα Cellular Networks, με κέρδη αποδοτικότητας και ασφάλειας.

## 1.6.2 Zigbee



Εικόνα 20: Zigbee

Το Zigbee έχει το προφίλ ενός έξυπνου δικτύου γνωστού ως Zigbee Smart Energy Profile (SEP) και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο και χρηστικό στην Αμερική. Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου σπιτιού και του υπόλοιπου έξυπνου δικτύου, παρέχοντας ταυτόχρονα στον καταναλωτή οθόνη, μέσω της οποίας παρουσιάζεται η διεπαφή, βοηθώντας τον αντιληφθεί πλήρως τα τεκτονόμενα στον χώρο της οικίας του από την οπτική της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

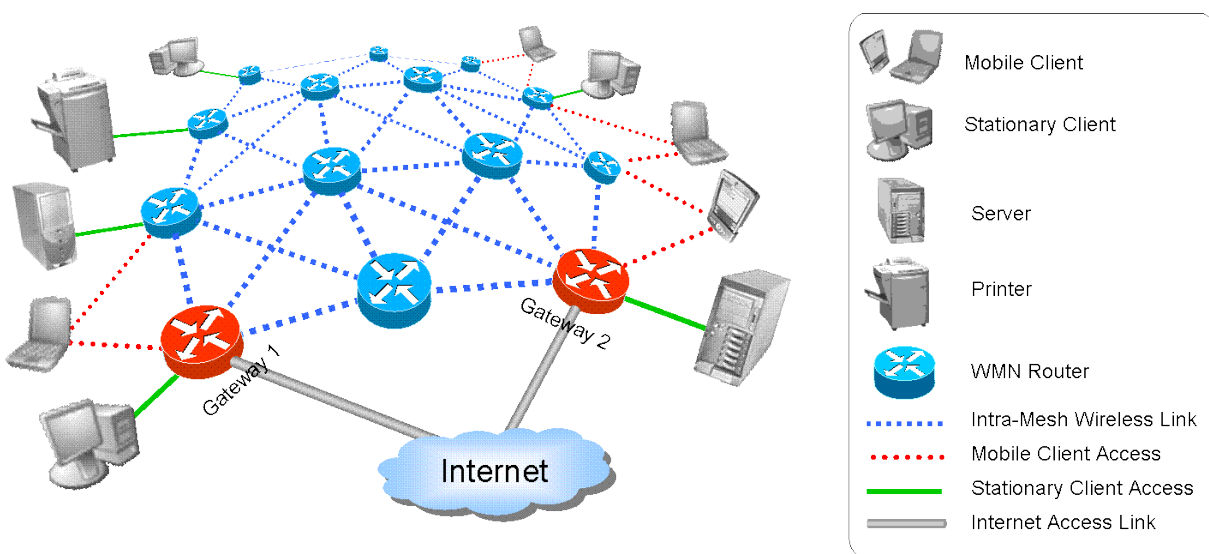


Εικόνα 21: Διασύνδεση μέσω Zigbee

Οι μετρητές Zigbee μπορούν να επικοινωνούν απρόσκοπτα με τους υπόλοιπους Zigbee μετρητές του σπιτιού και έχουν μια αμφίπλευρη επικοινωνία με το υπόλοιπο δίκτυο. Το σύστημα Zigbee έχει εισάγει πολλές ενδιαφέρουσες λειτουργίες, όπως η αμεσότητα στην παρακολούθηση του κόστους του νερού, του ρεύματος και του φυσικού αερίου σε πραγματικό χρόνο. Το μόνο κύριο μειονέκτημα του Zigbee, είναι ότι λειτουργεί σε φάσμα ISM (Industrial Scientific Medical), με αποτέλεσμα τη διένεξη με άλλες συσκευές που λειτουργούν παράνομα στο συγκεκριμένο φάσμα. Άλλοι μικροί περιορισμοί που έχει, είναι ο μικρός χώρος αποθήκευσης δεδομένων και η χαμηλής ταχύτητας επεξεργαστική ικανότητά του.

### 1.6.3 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks)

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, αποτελούν μια καλή επιλογή για αναμετάδοση της πληροφορίας μεταξύ των έξυπνων μετρητών και του κέντρου ελέγχου. Η λειτουργία τους βασίζεται στη λογική ότι κάθε έξυπνος μετρητής χρησιμοποιείται και ως αναμεταδότης (router) της πληροφορίας, στον πιο κοντινό έξυπνο μετρητή. Αυτό γίνεται όταν το κέντρο ελέγχου, βρίσκεται πιο μακριά από την εμβέλεια του μετρητή, ο οποίος ουσιαστικά χρειάζεται να έχει εμβέλεια τέτοια, ώστε να μπορεί να αναμεταδώσει την πληροφορία έως τον πιο κοντινό σε αυτόν μετρητή.



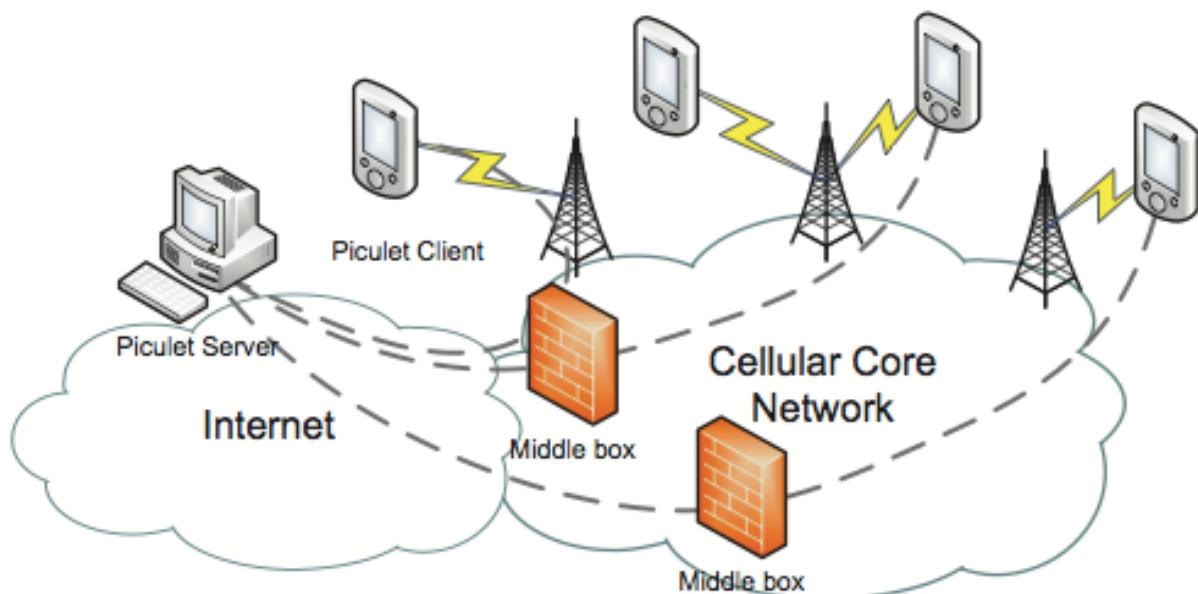
Εικόνα 22: Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks)

Αυτού του τύπου δίκτυα, έχουν ως πλεονεκτήματα, την σχετικά οικονομική η Χρήστος Ντάλλας

υλοποίησή τους, και την αρκετά αποδοτική λειτουργία τους. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι μπορούν από μόνα τους να καθορίζουν κάθε φορά το μονοπάτι διαδρομής της πληροφορίας (self-path), καθώς και σε περίπτωση που ένας κόμβος σταματήσει να λειτουργεί για κάποιο τεχνικό πρόβλημα, να τον αλλάζουν (self-healing), χρησιμοποιώντας στη θέση του, έναν άλλο κοντινό με βάση κάποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης, τροποποιώντας την διαδρομή (re-routing). Ως μειονεκτήματα μπορούμε να αναφέρουμε την παρεμβολή με άλλες συχνότητες, την εξασθένιση του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής, καθώς και την δυσκολία στην κάλυψη αστικών περιοχών.

#### 1.6.4 Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας ή Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks)

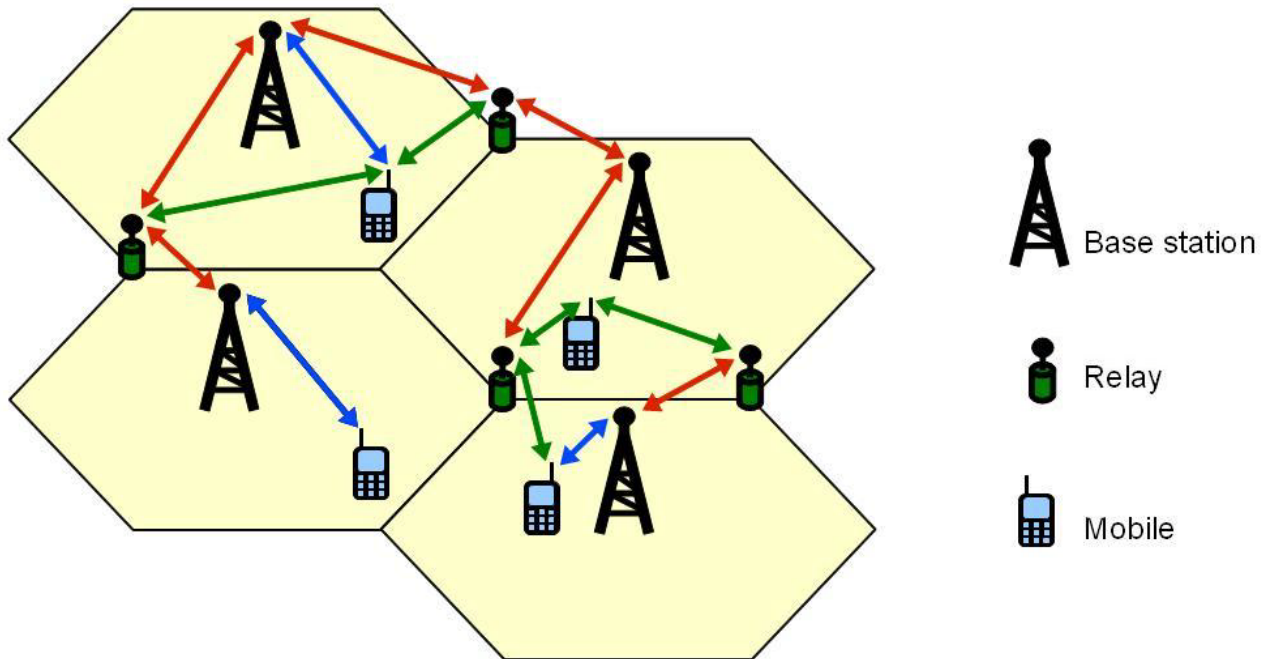
Τα κυψελοειδή δίκτυα, χρησιμοποιούνται και αυτά ως μέσω υλοποίησης των έξυπνων δικτύων, καθώς δεν απαιτείται πρόσθετο κόστος για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους. Οι κάρτες SIM και η λειτουργία GPRS, είναι ενσωματωμένα στους έξυπνους μετρητές, καθιστώντας ικανή την επικοινωνία με τους διαχειριστές του δικτύου. Πιθανές τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν, όπως το παράδειγμα της Αυστραλιανής εταιρείας SP Ausnet, η οποία χρησιμοποιεί ένα δίκτυο τεχνολογίας WiMax αποκλειστικά για διαλειτουργικότητα με έξυπνα δίκτυα, ενσωματώνοντας τα κατάλληλα τσιπ στους έξυπνους μετρητές, ώστε επικοινωνούν απευθείας με τα κεντρικά της εταιρείας.



Εικόνα 23: Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας ή Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks)



Μιας και η πληθυσμιακή κάλυψη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας έχει πλέον προσεγγίσει το 100%, αποτελεί ένα απολύτως κατάλληλο μέσο για περαιτέρω ανάπτυξη πάνω στο χώρο των έξυπνων δικτύων. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί ότι η εξακρίβωση της αυθεντικότητας των δεδομένων που διακινούνται μέσω αυτών των δικτύων, αλλά και τα υπόλοιπα θέματα ασφαλείας, διαχειρίζονται εξ ολοκλήρου από τον εκάστοτε πάροχο κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 24: Μορφολογία Cellular Networks

## 1.7 Απαιτήσεις

Για τη μετάβαση όμως από το σημερινό κλασσικό δίκτυο σε ένα προηγμένο έξυπνο δίκτυο απαιτούνται κάποια ζωτικής σημασίας στοιχεία. Η παρακολούθηση και η ανίχνευση αλλαγών, ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των εργαλείων του συστήματος και η διαδικασία ελέγχου και λήψης αποφάσεων, είναι ουσιαστικά τα δομικά στοιχεία της μετάβασης στα καινούρια δεδομένα που επιβάλλει η εποχή.

Μιλώντας πιο συγκεκριμένα, παραθέτονται οι παρακάτω ενότητες στις οποίες πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση, για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος.

- Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service (QoS))
- Διαλειτουργικότητα (Interoperability)
- Επεκτασιμότητα (Scalability)

- Ασφάλεια (Security)
- Τυποποίηση (Standardization)

### **1.7.1 Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service (QoS))**

Η ποιότητα της υπηρεσίας πρέπει να εξασφαλίζει ένα αξιοπρεπές επίπεδο από την παραγωγή της ενέργειας, την διακίνηση και τη διανομή, έως και τη διαδραστικότητα με το χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται μειώνοντας σε όσο το δυνατόν μικρότερα επίπεδα το χρόνο που χρειάζεται η πληροφορία να μεταδοθεί, επεξεργαστεί και σταλεί πίσω στην πηγή (latency). Ουσιαστικά μιλάμε για διεργασίες πραγματικού χρόνου που κυμαίνονται σε 12-20ms ως χρόνο αποστολής, με το όριο αποτυχίας να μην βρίσκεται πάνω από τα 100ms και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, να είναι το πολύ 15 δευτερολέπτων παλιά.

Σαν γενική αρχή τα έξυπνα δίκτυα πρέπει να έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, με προσανατολισμό την καίρια λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα των συμβατικών μεθόδων ηλεκτροδότησης. Επιπλέον, καθώς ολοένα και περισσότερες έξυπνες συσκευές συνδέονται στο σύστημα με την εξέλιξη του έξυπνου δικτύου, η υποδομή της επικοινωνίας πρέπει να αναβαθμιστεί, επιτρέποντας την ταυτόχρονη αποστολή όλο και περισσότερων μηνυμάτων, χωρίς να υπάρχει μεγάλο αντίκτυπο στο χρόνο μετάδοσης. Με λίγα λόγια, το εύρος ζώνης του δικτύου (bandwidth), πρέπει να αυξάνεται γρηγορότερα από τις απαιτήσεις για γρήγορη αποστολή των διασυνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο.

### **1.7.2 Διαλειτουργικότητα (Interoperability)**

Με τον όρο διαλειτουργικότητα, εννοούμε την ικανότητα διαφορετικών συστημάτων να λειτουργούν μαζί, χρησιμοποιώντας συμβατά εξαρτήματα, να ανταλλάσσουν πληροφορίες ή εξοπλισμό μεταξύ τους και να συντονίζονται ώστε να φέρνουν εις πέρας τις διεργασίες που πρέπει να καλύψουν. Σωστή διαλειτουργικότητα σημαίνει υψηλό βαθμό ολοκλήρωσης, αποτελεσματική συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ πολλών διασυνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο.

### **1.7.3 Επεκτασιμότητα (Scalability)**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ολοένα και περισσότερες συσκευές και υπηρεσίες διασυνδέονται στο έξυπνο δίκτυο, επομένως η ανάγκη για εύκολη και χωρίς αποτυχίες επεκτασιμότητά του είναι επιβεβλημένη.

### 1.7.4 Ασφάλεια (Security)

Φτάνοντας στο κομμάτι της ασφάλειας είναι προφανές ότι πρέπει να εξεταστεί με μεγάλη προσοχή, καθώς όντας μέσα στο Smart Grid, μιλάμε για ένα δίκτυο που οι δραστηριότητές του γίνονται μέσω του διαδικτύου, καθιστώντας τες άμεσα εκτεθειμένες σε κυβερνο-επιθέσεις (cyber-attacks). Διάφορα τρύπες ασφαλείας μπορεί να εμφανιστούν δίνοντας στους επιτήδειους τη δυνατότητα να διεισδύσουν στο δίκτυο, να πάρουν τον έλεγχό του στα χέρια τους και να διαφοροποιήσουν διάφορα στοιχεία του, αποσταθεροποιώντας το εν μέρη ή τελείως.

Η ασφάλεια δεν πρέπει βεβαίως να κατευθυνθεί μόνο στη αποτροπή των cyber-attacks, αλλά να προλάβει και άλλα προβλήματα, που μπορεί να είναι λάθη χειρισμού των εργαζόμενων στα κέντρα ελέγχου, αποτυχίες του λογισμικού ή του εξοπλισμού, καθώς και εξωγενείς παράγοντες όπως οι ακραίες καιρικές συνθήκες.

Για τη διασφάλιση της σταθερότητας, απαραίτητη κρίνεται η χρήση γνωστών πρωτοκόλλων ασφαλείας, που διασφαλίζουν ένα πολύ ασφαλές, επεκτατό και διαρκές αναπτυσσόμενο σύστημα επικοινωνίας στο έξυπνο δίκτυο. Αυτά τα πρωτόκολλα βασίζονται σε εφαρμογές επιβεβαίωσης στοιχείων, επιβεβαίωσης ενεργειών και διασφάλισης του προσωπικού απορρήτου. Παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι το AES (Advanced Encryption Standard) και το 3DES (Triple Data Encryption Algorithm). Όταν χρησιμοποιούμε ασύρματη μεταφορά δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα γνωστά πρωτόκολλα όπως το 802.11i και το 802.16e. Επίσης επικουρικά για την ασφάλεια τους θα χρησιμοποιηθούν διάφορα τείχη προστασίας (Firewalls), VPNs (Virtual Private Networks), IPSec, καθώς και SSH (Secure Shell), SSL (Security Socket Layer) και TLS (Transport Layer Security).

### 1.7.5 Τυποποίηση (Standardization)

Μιλώντας για τυποποίηση εννοούμε τον καθορισμό κάποιων στάνταρ σε τεχνολογίες, ώστε αυτά τα στάνταρ να αποτελούν ένα προκαθορισμένο σημείο αναφοράς, βοηθώντας στην συμβατότητα, τη διαλειτουργικότητα και την ικανότητα επανάληψης με στόχο το ίδιο αποτέλεσμα.

Επειδή σε ένα έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιούνται διάφορα standards, ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO), πήρε την πρωτοβουλία να καθορίσει κάποιες κοινές γραμμές λειτουργίας του smart grid, χρησιμοποιώντας τις τελευταίες τεχνολογίες. Η συγκεκριμένη ομάδα τυποποίησης ονομάστηκε IEEE P2030. Έτσι δημιουργήθηκαν τρεις

ομάδες που θα είχαν ως στόχο τη διαχείριση της ανομοιογένειας των επιμέρους συστημάτων· η τεχνολογική ομάδα ενέργειας και εξόρυξης (power engineering technology group) που θα εργαζόταν πάνω στη διαλειτουργικότητα, η τεχνολογική ομάδα πληροφορίας (information technology group) που θα επιμελούνταν θέματα ασφάλειας, προστασίας προσωπικών στοιχείων, ακεραιότητας δεδομένων και σωστής λειτουργίας των διεπαφών των εφαρμογών και η τεχνολογική μονάδα επικοινωνίας (communication technology group) που θα ορίζει τις απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων συσκευών στο smart grid.

## 1.8 Προκλήσεις

Ένα εγχείρημα τέτοιου βεληνεκούς είναι καταδικασμένο να έχει και πολλές δυσκολίες υλοποίησης. Οι απαιτήσεις για ενέργεια μεγαλώνουν διαρκώς, όχι μόνο στον αριθμό των καταναλωτών που αυξάνεται καθημερινά, αλλά και στην ποσότητα της ενέργειας που χρειάζεται ο κάθε ένας από αυτούς. Ο αριθμός των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα, ασύρματα ή ενσύρματα, καθημερινά πολλαπλασιάζεται. Οι δυσκολίες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση στο δίκτυο ενός μεγάλου φάσματος ενσωματωμένων υπολογιστικών εφαρμογών στις συσκευές, έξυπνων συσκευών και νέας γενιάς συστημάτων επικοινωνίας, που θα δίνουν στο δίκτυο την ομοιογένεια που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του.

Οι προκλήσεις αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

### 1.8.1 Πολυπλοκότητα (Complexity)

Η υποδομή για την επικοινωνία σε ένα έξυπνο δίκτυο είναι εξαιρετικά δύσκολη στην υλοποίηση. Επομένως η μοντελοποίηση, η ανάλυση και ο σχεδιασμός αυτής της υποδομής, είναι αναμενόμενο να παρουσιάσει διάφορες προκλήσεις. Τα αριθμητικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των δεδομένων, πρέπει να είναι ικανά για επίλυση μεγάλης κλίμακας προβλημάτων. Το κέντρο ελέγχου και πιο συγκεκριμένα το σύστημα επικοινωνίας, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο να μπορεί να διαχειρίζεται την αβεβαιότητα και τις ασυνέπειες και να παραμένει σταθερό.

### **1.8.2 Αποδοτικότητα (Efficiency)**

Η υποδομή για την επικοινωνία πρέπει να είναι ικανή να προσφέρει ανταλλαγή δεδομένων ασφαλισμένα από λάθη και σχεδόν ακαριαία διακίνηση τους μεταξύ των συσκευών κατά πλάτος όλου του δικτύου. Αυτό προϋποθέτει επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Επίσης απαιτεί μια υποδομή επικοινωνίας με άριστη λειτουργία, ικανή να δώσει γρήγορες και “έξυπνες” απαντήσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, συντονισμένες έπειτα από υψηλού επιπέδου ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να έχει:

1. Καλύτερη τηλεμετρία
2. γρηγορότερο χειρισμό
3. πιο εύρωστο χειρισμό
4. ολοκληρωμένη και ασφαλή επικοινωνία
5. ενισχυμένες υπολογιστικές δυνατότητες
6. καθορισμένα πρωτόκολλα λειτουργίας για το διαδίκτυο

### **1.8.3 Αξιοπιστία (Reliability)**

Μιλώντας για αξιοπιστία, ουσιαστικά αναφερόμαστε σε ένα πλαίσιο για τη συνεκτική ενσωμάτωση των αξιόπιστων τεχνολογιών, τη διευκόλυνση της σύγκλισης των αναγκαίων προτύπων και των πρωτοκόλλων, καθώς και την εφαρμογή των αναγκαίων αναλυτικών ικανοτήτων. Επιγραμματικά μερικά ζητήματα που αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής και αποτελούν πρόκληση σήμερα όσον αφορά την αξιοπιστία είναι:

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
2. Ανταπόκριση στη ζήτηση
3. Διαχείριση φορτίου
4. Αποθηκευτικές συσκευές
5. ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς

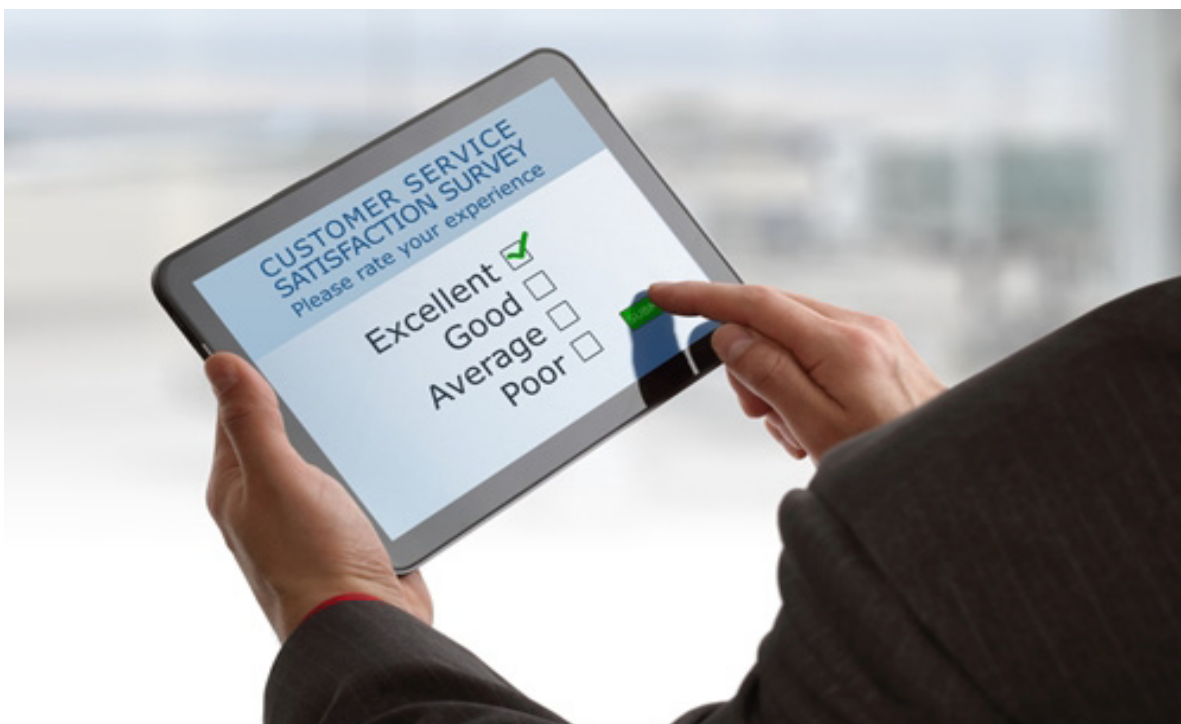
### **1.8.4 Ασφάλεια (Security)**

Μιλώντας για ασφάλεια θα εστιάσουμε σε δύο κύριους τομείς· την ασφάλεια απέναντι σε κυβερνοεπιθέσεις (Cyber-attacks) και την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων του χρήστη. Τα έξυπνα δίκτυα είναι ικανά για σύνδεση και διαλειτουργικότητα πληθώρα διαφορετικών συσκευών, ενσύρματα ή ασύρματα, όμως από την άλλη αυτό

επιφυλάσσει κινδύνους, καθώς τα τρωτά σημεία του συστήματος αυξάνονται. Όσον αφορά την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων, η ενίσχυσή της σε αποδεκτά επίπεδα, αποτελεί ορόσημο στην αποδοχή του έξυπνου δικτύου από τους καταναλωτές. Ο κάθε χρήστης πρέπει να νοιώθει ασφαλής, τόσο για το ότι ο μετρητής δεν έχει υποστεί επίθεση, στέλνοντας λάθος δεδομένα, όσο και για το ότι τα δεδομένα που θα σταλούν, θα χρησιμοποιηθούν καθαρά για την σωστή λειτουργία του δικτύου και όχι κατασκοπευτικά.

## 2. USER SATISFACTION, ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### 2.1 User Satisfaction (QoE)



Εικόνα 25: User Satisfaction (QoE)

#### 2.1.1 Περιγραφή

Όπως αναφέρθηκε και στις παραπάνω ενότητες, η ανερχόμενη τεχνολογία των έξυπνων δικτύων είναι μια προσπάθεια εκσυγχρονισμού του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου, με την ενσωμάτωση την αμφίδρομης ροής πληροφοριών και ηλεκτρικού ρεύματος, προσπαθώντας να πετύχει κάποιους στόχους. Ενσωματώνοντας τα έξυπνα δίκτυα στις ζωές μας η βιομηχανία ενέργειας αποκεντρωποιείται και δίνεται περισσότερη έμφαση στον καταναλωτή.

Αυτό μόνο θετικό αντίκτυπο μπορεί να έχει:

- Μειώνονται οι διακοπές ρεύματος με τις άσχημες συνέπειες για την κοινωνία, όπως η ευκαιρίες για κυβερνοεπιθέσεις από την αστάθεια των συστημάτων
- Μειώνονται οι βλαβερές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, βοηθώντας στην ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Βελτιώνεται η αυτονομία του κράτους καθώς απαιτούνται μικρότερη εισαγωγή πόρων για ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίοι μάλιστα μπορούν καλυφθούν σε μεγάλο ποσοστό μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Προωθείται η οικονομική ευημερία των καταναλωτών καθώς η σωστή χρήση του δικτύου προσφέρει σημαντικό περιορισμό στα έξοδά τους για ηλεκτροδότηση
- Βελτιώνει την αποδοτικότητα των εταιριών ηλεκτροδότησης βοηθώντας τους να γλιτώσουν μεγάλα ποσά που θα χρειάζονταν για την παραγωγή ρεύματος σε ώρες αιχμής

Όλα αυτά όμως δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν χωρίς την ενεργοποίηση των χρηστών και την ενσωμάτωση του έξυπνου δικτύου στην καθημερινότητά τους.

Αυτό υποδηλώνει και ο όρος άνεση του χρήστη. Μιλώντας για άνεση του χρήστη (user satisfaction, user comfort) ή για εμπειρία χρήσης (Quality of Experience (QoE)) εννοούμε το κατά πόσο οι υπηρεσίες που προσφέρουν τα έξυπνα δίκτυα καλύπτουν ή όχι τις επιθυμίες για ένα συγκεκριμένο βιοτικό επίπεδο του χρήστη.

Πέρα των διαφόρων τεχνικών θεμάτων που καλείται το έξυπνο δίκτυο να υλοποιεί, θα πρέπει οι λειτουργίες του είναι τέτοιες, ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στις απαιτήσεις των χρηστών. Για παράδειγμα, είναι εύκολη η ενημέρωση ενός χρήστη ότι το κλιματιστικό του αποτελεί μια από τις πιο ενεργοβόρες συσκευές του σπιτιού, αλλά θα πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή για την ελάττωση της χρήσης του, αλλιώς εκείνος νοιώθοντας ότι ρίχνει το βιοτικό του επίπεδο, απλά θα συνεχίσει την παλιά του καθημερινότητα, εκμηδενίζοντας τα όποια θετικά αποτελέσματα θα είχε μακροπρόθεσμα, ενσωματώνοντας τα έξυπνα δίκτυα στη ζωή του.

### **2.1.2 Αναγκαιότητα μέτρησης QoE**

Για να πετύχει το οποιοδήποτε εγχείρημα, όσο μεγαλόπνοο και αν είναι αυτό, αναγκαίο είναι να γνωρίζουμε σε τι καταναλωτικό κοινό αναφέρεται και ποιες οι προτιμήσεις



του. Δεν είναι δυνατόν να προσφέρουμε οτιδήποτε επιτυχώς σε κάποιον, αν δεν γνωρίζουμε τι είναι ακριβώς αυτό που θέλει και τι αυτό που τον γεμίζει με ικανοποίηση.

Γνωρίζοντας τις συνήθειες του χρήστη που έχουμε απέναντί μας, αποκτούμε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο, στην προσπάθεια για σχεδιασμό διάφορων μοτίβων που θα αποφέρουν ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας αλλά συνάμα θα είναι πιστά στο επίπεδο άνεσης του χρήστη, χωρίς να μεταβάλουμε τις καθημερινές του ανάγκες.

Επιπλέον οι πληροφορίες για το επίπεδο άνεσης που θέλει στην καθημερινότητά του, μπορούν να συνεισφέρουν και σε άλλους τομείς, όπως η δημιουργία ομάδων χρηστών, επιτρέποντας την υλοποίηση τεχνικών που θα αναφέρονται αποκλειστικά για τις συγκεκριμένες ομάδες.

### 2.1.3 Τρόποι μέτρησης



Εικόνα 26: Τρόποι μέτρησης QoE

Οι τρόποι για να αντληθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα ποικίλουν. Ο πιο κλασικός και διαδεδομένος είναι οι μετρήσεις με τη μορφή των ερωτηματολογίων μετά από μια περίοδο συλλογής δεδομένων. Ένας άλλος παρόμοιος τρόπος, είναι η συλλογή δεδομένων μόνο μέσω μετρήσεων με κάποια συσκευή μέτρησης και αποσαφήνιση της άνεσης του χρήστη από αυτά. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι κομβικής σημασίας για την κατανόηση του επιπέδου άνεσης του χρήστη, αφού στη συνέχεια με βάση αυτών, όπως θα δούμε, σχεδιάζονται ειδικοί αλγόριθμοι, στους οποίους εισάγονται αυτές οι πληροφορίες για να

προκύψουν μοτίβα και μοντέλα πρόβλεψης των καταναλωτικών ενεργειακών συνηθειών των χρηστών.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας από τους αποδοτικούς τρόπους, για να αναλυθεί ακριβώς η καταναλωτική του συμπεριφορά, είναι η διενέργεια ενός πειράματος στο οποίο θα λαμβάνονται μετρήσεις για ένα χρονικό διάστημα και έπειτα θα ακολουθούν κάποιες ερωτήσεις για να μας μεταφέρει ο κάθε χρήστης ξεχωριστά το πώς βίωσε τη συγκεκριμένη εμπειρία. Σε μια τέτοια διαδικασία υπάρχουν τα εξής στάδια:

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αφορά τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της έρευνας, καθώς και τον τρόπο που θα συλλεχθούν δεδομένα (επιλογή συσκευής μέτρησης) από την καθημερινότητα των χρηστών που θα συμμετέχουν.

Το δεύτερο στάδιο αναλώνεται στην επιλογή των ατόμων που θα λάβουν μέρος στην έρευνα. Έτσι επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό κομμάτι ατόμων είτε από μια συγκεκριμένη περιοχή, ώστε να παρθούν μετρήσεις για το πώς δρουν οι χρήστες σε μια μεμονωμένη γειτονιά, είτε από διάφορες περιοχές, όταν η έρευνα προσπαθεί να εξάγει πιο γενικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά τους.

Επιπλέον είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι ο τρόπος επιλογής του κάθε ατόμου εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα. Σε κάποιες περιπτώσεις, ο κάθε χρήστης μπορεί να αυτοεπιλεγεί, εκδηλώνοντας το ενδιαφέρον του μετά από μια έκκληση που πιθανώς είχε γίνει για ενδιαφερόμενους. Χρησιμοποιώντας τέτοιο δείγμα γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι αντιμετωπίζουμε χρήστες με διερευνητική κρίση και ενδιαφέρον να δουν και να τεστάρουν το αντικείμενο της έρευνας. Οι ανταποκρίσεις τους μπορεί να διαφέρουν με αυτές χρηστών που μπορεί να επιλέχτηκαν από την ομάδα μέτρησης με συγκεκριμένα κριτήρια.

Στο τρίτο στάδιο και τελικό στάδιο, γίνονται οι ερωτήσεις στους χρήστες για το τι αποκόμισαν από την συγκεκριμένη εμπειρία, ώστε μαζί με τις μετρήσεις που πάρθηκαν από την εκάστοτε συσκευή, να αξιολογηθούν και να αναλυθούν και αυτές, ώστε να προκύψουν τα απαραίτητα τελικά συμπεράσματα.

## **2.2 Το πείραμα της Ομάχα**

Ένα χαρακτηριστικό πείραμα που αντιστοιχεί πλήρως στο συγκεκριμένο μοντέλο έρευνας που αναφέρθηκε, διενεργήθηκε στην πόλη Ομάχα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Omaha State, United States of America).

### 2.2.1 Καθορισμός χαρακτηριστικών πειράματος

Για τη συλλογή των δεδομένων της καταναλωτικής συμπεριφοράς των χρηστών χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη μόνιτορ πραγματικού χρόνου (Real Time Monitor (RTM)) συμβατοί με τους έξυπνους μετρητές που υπήρχαν ήδη εγκατεστημένοι στα σπίτια. Δύο είδη από την 'οικογένεια' Aztech που για πρακτικούς σκοπούς ονομάστηκαν AZ1 και AZ2 και το άλλο ήταν το Power Cost Monitor (PCM).

Στις συσκευές της 'οικογένειας' Aztech υπάρχει η ένδειξη για το συνολικό κόστος μέχρι εκείνη τη στιγμή, τη συνολική ενέργεια που έχει καταναλωθεί (kWh), καθώς και τις μεταβλητές της στιγμιαίας κατανάλωσης. Η συσκευή τοποθετείται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του σπιτιού και θέλει 5 έως 15 λεπτά για αρχικοποίηση των παραμέτρων την πρώτη φορά που θα συνδεθεί και 2-4 λεπτά για κάθε φορά που χρειάζεται να κάνει ανανέωση. Η συσκευή AZ1 χρησιμοποιούσε οπτική ειδοποίηση με εναλλαγή χρώματος, ώστε να ειδοποιεί τον χρήστη ανάλογα με το χρώμα για το αν η ζήτηση για ενέργεια εκείνη τη χρονική περίοδο ήταν υψηλή ή χαμηλή. Έτσι ενθαρρύνονταν να χρησιμοποιεί τις ενεργοβόρες συσκευές σε περιόδους με χαμηλή ζήτηση για ενέργεια για μεγιστοποίηση του κέρδους του.

Σε αντίθεση με τη συσκευή AZ1, η AZ2 χρησιμοποιούσε την χρωματική εναλλαγή για να ενημερώσει τον χρήστη σε ποιο ποσοστό βρίσκεται με βάση μια μέση ημερήσια κατανάλωση που είχε εκ των προτέρων οριστεί. Αν η χρήση ξεπερνούσε το 40% του ημερήσιου μέσου όρου το λαμπάκι γινόταν πορτοκαλί, ενώ αν ξεπερνούσε το 60% γινόταν κόκκινο. Τα μεσάνυκτα κάθε μέρας μηδενίζονταν και επέστρεφε στο πράσινο χρώμα.

Η συσκευή PCM έχει τετράγωνο σχήμα και μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε μέσα στο σπίτι. Πέραν των πληροφοριών που παρέχουν οι άλλες δύο συσκευές, έχει και ένα περιστρεφόμενο δίσκο, του οποίου η ταχύτητα αυξάνεται σε περίπτωση που ανιχνευθεί αύξηση της κατανάλωσης. Η διαδικασία εγκατάστασής της είναι αρκετά περίπλοκη, αλλά έχει ως πλεονέκτημα τον πολύ μικρό χρόνο ανανέωσης που είναι μικρότερος των 30 δευτερολέπτων.

Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές συσκευές που μοιράστηκαν ισόποσα, για να φανεί αν οι ιδιαιτερότητες της κάθε συσκευής και ο τρόπος που ενημέρωναν τους χρήστες για τα τεκτονόμενα επηρέαζαν την καταναλωτική τους συμπεριφορά.

## 2.2.2 Επιλογή ατόμων

Στο πείραμα συμμετείχαν 151 εθελοντές, οι οποίοι αυτο-επιλέχθηκαν απαντώντας σε ένα ηλεκτρονικό μήνυμα που τους είχε σταλεί. Το συγκεκριμένο mail τους ζητούσε να συμμετέχουν στην έρευνα με σκοπό να έχουν σημαντικά οικονομικά κέρδη από την ελάττωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης, και επιπλέον να βοηθήσουν την ομάδα των ερευνητών να κατανοήσουν καλύτερα τις καταναλωτικές τους συνήθειες, ώστε να βελτιώσουν ακόμα περισσότερο το σύστημα. Επίσης τους προτάθηκε ότι όποιος ήθελε θα μπορούσε να συνεχίσει το πρόγραμμα για ακόμα ένα χρόνο μετά το πέρας του αρχικού κομματιού των 3 μηνών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.



**Εικόνα 27: Επιλογή ατόμων πειράματος**

Σε κάθε ένα από τα 151 σπίτια των εθελοντών εγκαταστάθηκε από μία συσκευή. 50 συσκευές AZ1, 50 AZ2 και 51 PCM. Όλες οι συσκευές εγκαταστάθηκαν μέσα στα χρονικά πλαίσια που είχαν οριστεί μετά από ραντεβού, κατά το οποίο οι χρήστες ενημερώθηκαν ξανά για τις λεπτομέρειες του προγράμματος, τους δόθηκαν οδηγίες για το πως λειτουργούν, καθώς απαντήθηκαν τα όποια ερωτήματα είχαν.

Οι χρήστες ήταν ελεύθεροι κατά τη διάρκεια του προγράμματος να αποχωρήσουν αν το θελήσουν. Έτσι από τους 151 που ξεκίνησαν, σταμάτησαν οι 39 (15 AZ1, 12 AZ2 και 12 PCM) και τη θέση τους πήραν αντίστοιχα 39 άτομα, χωρίς όμως οι μετρήσεις να χρησιμοποιηθούν. Από τους αποχωρήσαντες, οι 4 υποστήριξαν ότι αποσύνδεσαν την συσκευή τους λόγω διακοπής ρεύματος με αποτέλεσμα οι ρυθμίσεις και τα δεδομένα να χαθούν. 8

υποστήριξαν ότι δεν μπόρεσαν να βρουν ουσιαστικό λόγο για να χρησιμοποιήσουν τη συσκευή και 2 μετακόμισαν σε γεωγραφική περιοχή εκτός των ορίων της μέτρησης. Ωστόσο το 64% των χρηστών που αποφάσισαν να σταματήσουν το πρόγραμμα, είπαν ότι ήδη οι συσκευές τους βοήθησαν να αλλάξουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες, επομένως δεν υπήρχε λόγος να έχουν πια τη συσκευή στο σπίτι τους.

### 2.2.3 Συλλογή και αξιολόγηση δεδομένων

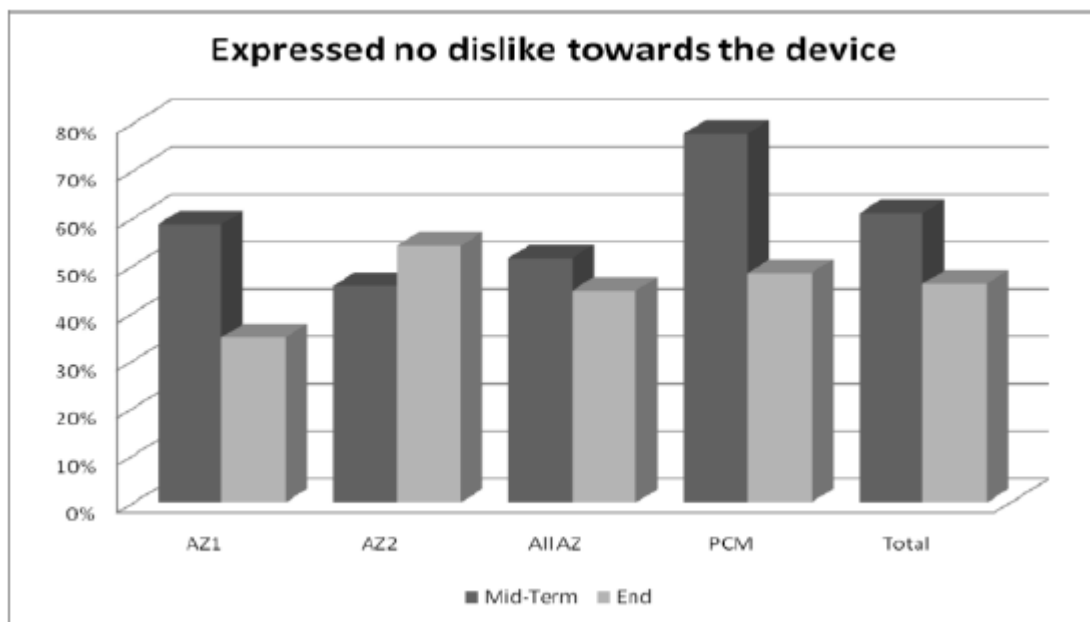
Από τους χρήστες ζητήθηκε να συμπληρώσουν 2 ερωτηματολόγια. Ένα στη μέση του προγράμματος δηλαδή τον Σεπτέμβριο του 2008 και ένα στο τέλος του προγράμματος τον Σεπτέμβριο του 2009, αφού είχαν αφαιρεθεί και οι συσκευές από τα σπίτια τους. Είχαν την επιλογή να συμπληρώσουν τις 9 ερωτήσεις που τους δόθηκαν με τη βοήθεια ενός ειδικού τη στιγμή της απεγκατάστασης, ή μόνοι τους σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα και τις αποστέλουν με e-mail.

Πίνακας 1: Αριθμός ολοκληρωμένων ερωτηματολογίων κατά τη διάρκεια και στο τέλος του πειράματος

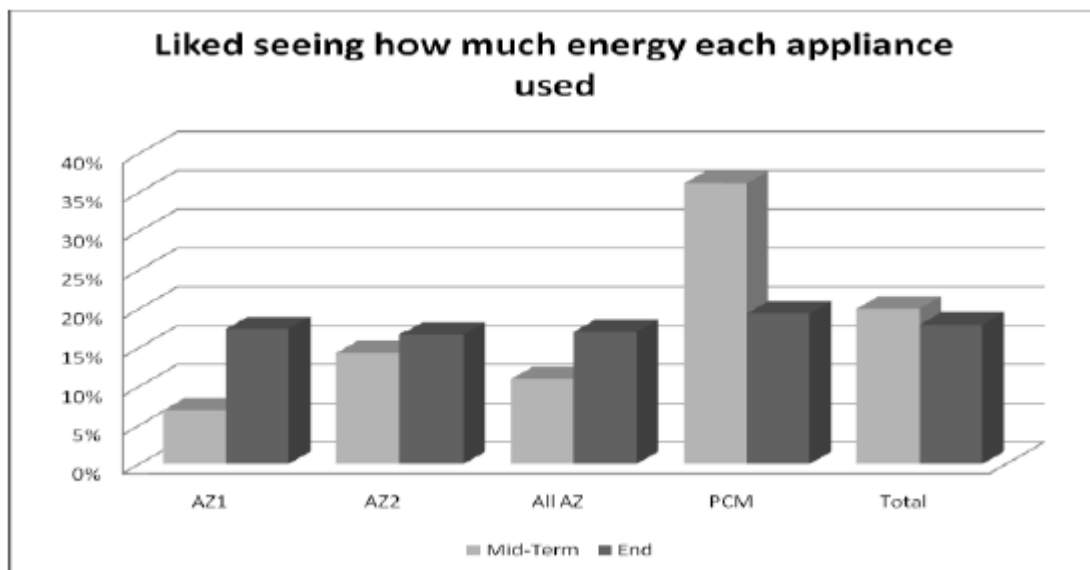
	<b>AZI</b>	<b>AZII</b>	<b>PCM</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Surveys Completed During Study</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>100</b>
<b>Surveys Completed After Study</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>31</b>	<b>78</b>

Το πρώτο ερωτηματολόγιο το συμπλήρωσαν 100 χρήστες, ενώ το δεύτερο και τελικό 78. Στους πίνακες και τα γραφήματα παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά κάποια από τα δεδομένα που προέκυψαν από τις απαντήσεις τους.

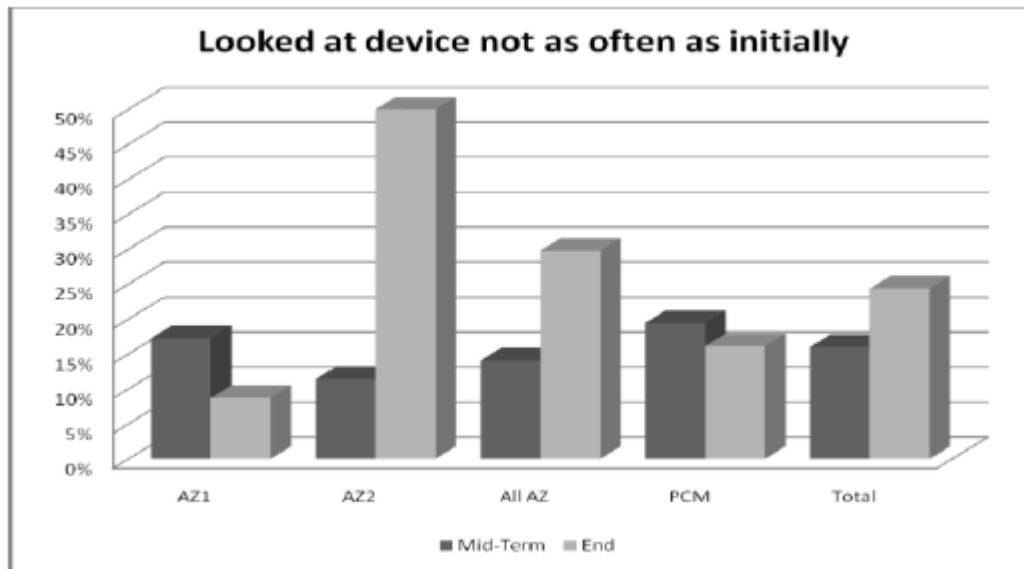
Πίνακας 2: Χρήστες που δεν εξέφρασαν κάποιο παράπονο για την ηλεκτρική συσκευή



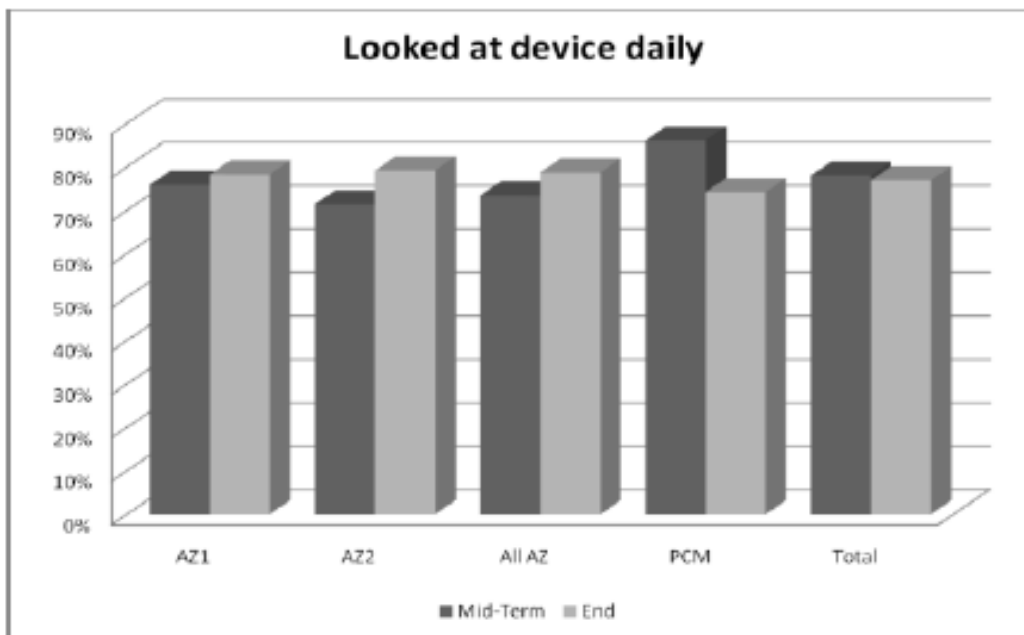
Πίνακας 3: Χρήστες που εξέφρασαν την αρέσκεια τους έχοντας τη δυνατότητα να δουν την κατανάλωση κάθε ηλεκτρικής συσκευής



Πίνακας 4: Χρήστες που δήλωσαν ότι κοιτούσαν τη συσκευή όχι τόσο συχνά όσο στην αρχή του πειράματος



Πίνακας 5: Χρήστες που κοιτούσαν καθημερινά τη συσκευή



## 2.2.4 Θετικές εμπειρίες

Μετά το πέρας του πειράματος οι εμπειρίες των χρηστών ήταν ανάμεικτες, χωριζόμενες σε θετικές και αρνητικές, με το θετικό στοιχείο όμως να επικρατεί.



Εικόνα 28: Θετικές εμπειρίες πειράματος

Οι θετικές εμπειρίες ήταν:

### 1. Οι συσκευές και το πείραμα συνέβαλλαν στην επικοινωνιακή τριβή.

Οι συσκευές ήταν πολλές φορές στο επίκεντρο της κουβέντας μεταξύ των νοοίκων και των φιλοξενούμενων, δημιουργώντας ευχάριστο κλίμα αφού οι συζητήσεις επικεντρώνονταν πολλές φορές σε τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας και βοήθειας του περιβάλλοντος.

### 2. Αυξημένη επίγνωση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι χρήστες ανέφεραν ότι με την παρουσία της συσκευής και με την παρακολούθηση των ενδείξεών της, απέκτησαν καλύτερη επίγνωση του τρόπου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Επισημάνθηκε ότι η ηλεκτρική ενέργεια από ένα άυλο προϊόν απέκτησε υπόσταση στο μυαλό τους, βάζοντάς τους έστω σε σκέψεις, για το πώς μπορούν να ελαττώσουν τη χρήση της και συνάμα να την αξιοποιήσουν αποδοτικότερα.

### 3. Οι συσκευές χρησιμοποιήθηκαν ως εκπαιδευτικό εργαλείο από τους καταναλωτές.

Πολλοί χρήστες επισήμαναν την εκπαιδευτική σημασία των συσκευών στην καθημερινότητά τους. Εξέφρασαν ευχαρίστηση καθώς έμαθαν την ενεργειακή συμπεριφορά κάποιων συσκευών, με αποτέλεσμα την αλλαγή της δικής τους καταναλωτικής συμπεριφοράς.



#### 4. Αποτέλεσαν θετικό παράδειγμα νέων τεχνολογιών.

Στις απαντήσεις των χρηστών για το τι τους αρέσει στις συσκευές, αναφέρθηκε με θετικό τόνο το νεωτεριστικό στοιχείο που είχαν και ότι χρησιμοποιώντας τις βοηθούσαν με τον τρόπο τους στην εξέλιξη της τεχνολογίας έστω και με συμβολικό τρόπο.

#### 5. Βοήθησαν στην παρότρυνση για εξοικονόμηση ενέργειας.

Αναφέρθηκε από πολλούς χρήστες ότι τους άρεσε το πώς οι συσκευές τους βοήθησαν να θέσουν στόχους ελάχιστης κατανάλωσης, χρησιμοποιώντας τις για να δουν αν τα κατάφεραν μετρώντας καταναλώσεις και κάνοντας βελτιώσεις στον τρόπο που καταναλώνουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

#### 6. Δίνουν τη δυνατότητα για επιπλέον εναλλακτικές χρήσεις.

Τέτοιες προσοδοφόρες τεχνολογίες δίνουν το έναυσμα για νέες εναλλακτικές χρήσεις πέραν της αρχικής τους σχεδίασης. Ένας από τους συμμετέχοντες της έρευνας, ανέφερε λοιπόν, ότι η συσκευή PCM, τον βοήθησε με τον καταρράκτη του, καθώς μέσω των ενδείξεών της καταλάβαινε αν είχε κλείσει τα φώτα πριν κοιμηθεί.

### 2.2.5 Αρνητικές εμπειρίες

Πέραν των πολλών θετικών σχολίων που προέκυψαν για το πείραμα και τις συσκευές, όπως ήταν αναμενόμενο υπήρξε και η άλλη πλευρά.



Εικόνα 29: Αρνητικές εμπειρίες πειράματος

Τα αρνητικά λοιπόν που αναφέρθηκαν για το πρόγραμμα ήταν τα εξής:

#### 1. Τεχνικές δυσκολίες και δυσκολίες ερμηνείας των δεδομένων.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος κάποιοι χρήστες αναγκάστηκαν να επανεκκινήσουν τις συσκευές, είτε λόγω ηλεκτρικών διακοπών είτε απλά προσωπικής τους απόφασης για αλλαγή χώρου. Τα τεχνικά θέματα του επαναπρογραμματισμού των συσκευών αναφέρθηκαν από κάποιους ως αρνητικό στοιχείο. Άλλοι χρήστες βρήκαν δύσκολη την κατανόηση της λειτουργίας των συσκευών, μην μπορώντας να ερμηνεύσουν τα δεδομένα, με αποτέλεσμα να θεωρούν ότι δεν λειτουργούν σωστά. Προβλήματα αναφέρθηκαν λόγω της αλλαγής από θερινή σε χειμερινή τιμολόγηση.

Επιπλέον, δυσκολίες υπήρξαν από χρήστες που ενώ μπορούσαν να κατανοήσουν τι σήμαιναν οι μετρήσεις των συσκευών, δεν μπορούσαν να τις αξιοποιήσουν αποδοτικά, σε συμπεριφορές εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλοί ανέφεραν ότι ενώ ήταν ευαίσθητοποιημένοι στο θέμα της ελάττωσης ηλεκτρικής ενέργειας και έτοιμοι να προσπαθήσουν για αυτό, δεν ήξεραν με ποιο ακριβώς τρόπο μπορούσαν να το επιτύχουν. Ένα χιουμοριστικό παράδειγμα αυτού του προβλήματος, αντικατοπτρίζεται από ένα χρήστη, ο οποίος, μη ξέροντας τι άλλο να κάνει για να εξοικονομήσει ενέργεια, απλά έκλεινε τα φώτα.

## **2. Έλλειψη χρόνου ενασχόλησης**

Όπως σε πολλές μελέτες παρακολούθησης ενεργειακής συμπεριφοράς καταναλωτών, έτσι και εδώ, πολλοί χρήστες έχασαν το ενδιαφέρον τους για παρακολούθηση των συσκευών μετά από ένα χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερος χρήστες που θεώρησαν ότι οι καταναλωτικές τους συνήθειες είναι οι βέλτιστες και δεν επιδέχονται περεταίρω διορθώσεων, αμέλησαν τελείως την παρακολούθηση των συσκευών.

Κάτι άλλο που επισημάνθηκε από χρήστες, ήταν ότι ο χρόνος που απαιτούνταν για να δουν και να αναλύσουν τις μετρήσεις ήταν πολύς μεγάλος και λόγω άλλων υποχρεώσεων δεν ήταν δυνατόν να αφιερωθεί εκεί.

## **3. Σπατάλη χώρου λόγου του όγκου των συσκευών**

Αρκετοί ήταν αυτοί που ανέφεραν ότι η συσκευή έπιανε πολύ χώρο δημιουργώντας τους πρόβλημα. Αναφέρθηκε επίσης ότι ο κύριος λόγος που κάποιοι αντιπάθησαν το πείραμα ήταν ο χώρος που καταλάμβανε η συσκευή. Κάποιοι την μετακίνησαν σε άλλο σημείο που δεν επισκέπτονταν συχνά για να μην τους ενοχλεί, όπως το πατάρι, με αποτέλεσμα να μην την συμβουλεύονται αρκετά. Τέλος ένας χρήστης ανέφερε ότι δεν συνέχισε στο δεύτερο κομμάτι του πειράματος απλά λόγω έλλειψης χώρου για τη συσκευή.

### **2.2.6 Ανάμεικτες εμπειρίες/περιορισμοί**

## **1. Κομψότητα συσκευής**

Οι γνώμες των χρηστών στην ερώτηση για το τι τους άρεσε στις συσκευές δίστανται, με τους περισσότερους να αναφέρονται θετικά στο σχεδιασμό τους και το μικρό τους μέγεθος, στην ευανάγνωστη οθόνη τους, καθώς και στην κομψότητα εναλλαγής χρωμάτων που παρέχονταν. Φυσικά υπήρχαν και κάποιοι που δεν έμειναν ικανοποιημένοι μιλώντας για μεγάλο όγκο των συσκευών και την εναλλαγή χρωμάτων που τους φάνηκε αποσυντονιστική και ενοχλητική.

## **2. Περιορισμοί στο σχεδιασμό του ερωτηματολογίου**

Πρέπει να αναφερθεί ότι παρόλη την ελευθερία που δόθηκε στους χρήστες για την διατύπωση των απαντήσεών τους, υπήρχαν πολλοί περιορισμοί. Ο πρώτος και βασικότερος ήταν ότι δεν μπόρεσαν να μεταφέρουν τις εμπειρίες τους εκ στόματος, όπως παραδείγματος χάρη μέσω μιας συνέντευξης. Έτσι θα εξηγούνταν πολλά πράγματα για τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια του προγράμματος που δεν είναι δυνατόν να συμβεί μέσω των ερωτηματολογίων. Δεύτερον οι ερευνητές δεν είχαν τη δυνατότητα να δουν τους χρήστες στην καθημερινότητά τους, ώστε να παρατηρήσουν το πως ακριβώς τις χρησιμοποιούν και τις αξιολογούν. Τέλος μια σημαντική αλλαγή, θα ήταν η ενημέρωση των χρηστών κατά τη διάρκεια του προγράμματος της καταναλωτικής τους συμπεριφοράς, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του προγράμματος, ώστε να τους δοθεί η δυνατότητα να αλλάξουν τις συνήθειές τους, αν δεν είναι ικανοποιημένοι από τα δεδομένα που τους παρουσιάστηκαν.

### **2.2.7 Χρήσιμα συμπεράσματα**

Αναλύοντας τα δεδομένα του πειράματος και ελέγχοντας τις απαντήσεις των χρηστών, πολλά χρήσιμα συμπεράσματα προέκυψαν για χαρακτηριστικά του πειράματος που μπορούσαν να είχαν υλοποιηθεί διαφορετικά.. Χαρακτηριστικά τα οποία εκ πρώτης όψεως φαινόταν αμελητέας σημασίας, αλλά αποδείχθηκε ότι η αμέλεια τους είχε πολλές συνέπειες στο τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρθηκαν οι χρήστες και μετέβαλε σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα.

- **Ο ρόλος της ευκολίας στη χρήση της συσκευής**

Ένα σημαντικό στοιχείο, στο οποίο δεν δόθηκε μεγάλη προσοχή κατά το σχεδιασμό του πειράματος, ήταν η ευκολία με την οποία μπορούσε ένας χρήστης να κάνει τις αλλαγές που έπρεπε στη συσκευή. Για παράδειγμα για την επανεκκίνηση της συσκευής αναφέρθηκε από ένα χρήστη ότι «είναι δύσκολο να φτάσεις τα καλώδια». Ακόμα και το σημείο που βρίσκεται το κουμπί ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της εκάστοτε συσκευής πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν ότι πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την ευκολία στη χρήση της συσκευής, περισσότερο από ότι υπολογιζόταν μέχρι στιγμής στο σχεδιασμό μελλοντικών πειραμάτων.

- **Η αισθητική και η σημασία στην τοποθεσία της συσκευής στο σωστό σημείο της οικίας**

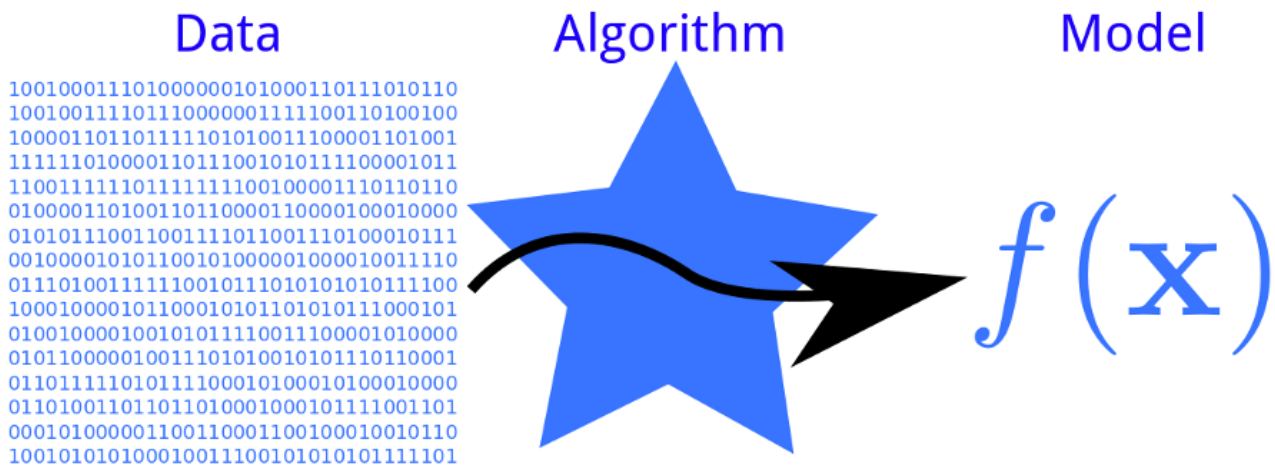
Αρκετές μελέτες έχουν αφιερωθεί στο ρόλο που παίζει η τοποθεσία, ο όγκος και η αισθητική της συσκευής στο σπίτι και όχι τυχαία. Έχει αποδειχθεί ότι αμελώντας αυτόν τον τομέα στην έρευνα επιφυλάσσει μεγάλους κινδύνους για την εγκυρότητά της, καθώς τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με αυτά που έπρεπε να προκύψουν. Αυτό φάνηκε και στο συγκεκριμένο πείραμα. Πριν την εγκατάσταση της συσκευής ρωτήθηκε από τον κάθε χρήστη, ποιο σημείο του σπιτιού παρουσιάζει τη μεγαλύτερη 'κίνηση', για να τοποθετηθεί εκεί. Πολλοί όπως ήταν εύλογο πρότειναν μέρη που περνούν αρκετή ώρα της ημέρας όπως το σαλόνι και η κουζίνα. Άξιο αναφοράς είναι, ότι από αρκετούς δεν αναφέρθηκε μέρος του σπιτιού, που περνούν αρκετή ώρα αλλά αντικείμενο, όπως για παράδειγμα το σημείο που βρίσκεται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η μετακίνηση της συσκευής κατά τη διάρκεια του πειράματος από μερικούς έγινε γιατί «έπρεπε να είχε τοποθετεί σε πιο εμφανή σημείο». Επιπλέον στην αντίπερα όχθη, οι χρήστες που δεν ήθελαν να ασχοληθούν άλλο με τη συσκευή, αποφάσισαν την μετακινήσουν σε σημείο που δεν ήταν εμφανή ή που επισκέπτονταν ελάχιστα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Τέλος μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται, στην αισθητική εμφάνιση της συσκευής. Πρέπει να γίνει αντιληπτό, ότι οι χρήστες έχουν συνηθίσει να μην βλέπουν τις διάφορες συσκευές μετρήσεις και δεν είναι εύκολο αυτό να αλλάξει. Επομένως οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να έχουν προσεγμένο σχεδιασμό, ώστε να ταιριάζουν ακόμα και με τη διακόσμηση του σπιτιού, για τους πιο απαιτητικούς.

Συνοψίζοντας λοιπόν, τα δεδομένα του πειράματος υποστηρίζουν προηγούμενες έρευνες, που αποφάνθηκαν ότι οι χρήστες αναφέρουν θετικά και αρνητικά σχόλια σχετικά με την προσπάθεια που γίνεται για αυξημένη ενεργειακή επίγνωση και για τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας. Είναι επίσης φανερό ότι μικρές λεπτομέρειες, πρέπει να προσεχθούν ώστε να αποφευχθούν λάθη που θα αλλάξουν πολύ τα τελικά αποτελέσματα της

έρευνας και η αποφυγή τους θα βοηθήσει στο να αποκτήσει η έννοια της ενέργειας πιο υλική υπόσταση.

## 2.3 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης



Εικόνα 30: Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

Οι Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Algorithms) εξυπηρετούν στην αποτελεσματική πρόβλεψη των καταναλωτικών προτιμήσεων του κάθε χρήστη, στοχεύοντας στη βέλτιστη δυνατή διαχείριση των ηλεκτρικών πόρων και διασφαλίζοντας παράλληλα την άνεση του χρήστη. Είναι ένας τομέας που συνεχώς εξελίσσεται και βελτιώνεται, με νέους και αποδοτικότερους αλγόριθμους να σχεδιάζονται διαρκώς, προσπαθώντας να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομία στην κατανάλωση πόρων, χωρίς όμως να μειώνεται το βιοτικό επίπεδο του καταναλωτή.

### 2.3.1 Support Vector Machine

Ο αλγόριθμος Support Vector Machine (SVM) χρησιμοποιεί έναν αριθμό από  $N$  δείγματα  $X = \{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$ , όπου το  $x_i \in R^d$  και το  $y_i \in \{1, -1\}$ , ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί το τη συνάρτηση κόστους και συνδυάζει τα εξής δύο κριτήρια: μεγιστοποίηση περιθωρίου (margin maximization), για το γραμμικό διαχωρισμό των δεδομένων και ελαχι-

στοποποίηση λάθους (error minimization) για να απομονώσει τα λάθος ομαδοποιημένα δείγματα. Η συνάρτηση ορίζεται ως εξής:

$$\Psi(w, \xi) = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^N \xi_i$$

$C > 0$  είναι η κύρωση λόγω λάθους που αναφέρθηκε πριν. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της μεταβλητής  $C$ , τόσο μικρότερη είναι η κύρωση για τα λάθος ομαδοποιημένα δείγματα. Τα  $\xi_i$  καλούνται χαλαρές μεταβλητές (slack variables) και αντιπροσωπεύουν τη μη διαχωριστικότητα των δεδομένων. Η συνάρτηση κόστους υπόκειται στους παρακάτω περιορισμούς:

$$Y_i (w^T \varphi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, i = 1, 2, \dots, N$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N$$

Επιπλέον η  $K(x_i, x_j) \equiv \varphi(x_i)^T \varphi(x_j)$  καλείται συνάρτηση Κέρνελ (Kernel function) όπου το  $\varphi(x)$  απεικονίζει το διάνυσμα  $x_i$  σε ένα μεγαλύτερου βαθμού (ή άπειρου) διαστάτου χώρου, όπου ο SVM βρίσκει τη λύση.

Η ακτινική βάση της συνάρτησης Κέρνελ (Kernel radial basis function), μπορεί να χειριστεί την περίπτωση όπου η απεικόνιση μεταξύ των κλάσεων και των χαρακτηριστικών δεν είναι γραμμική. Ορίζεται ως:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$$

όπου το  $\gamma > 0$  χειρίζεται την εξομάλυνση του παράγοντα διαχωρισμού.

### 2.3.2 Multilayer Perceptron

Ο αλγόριθμος Multilayer Perceptron (MLP), είναι ένα νευρωνικό δίκτυο μεταδράσεως με μια είσοδο, μια έξοδο και ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα. Κάθε επίπεδο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το επόμενο και κάθε κόμβος εκτός των κόμβων εισόδου, είναι νευρώνες που συνήθως έχει σιγμοειδή συνάρτηση ενεργοποίησης (sigmoid activation function). Μία συνήθης συνάρτηση ενεργοποίησης ορίζεται ως:

$$\varphi (y_i) = (1 + e^{-w_i})^{-1}$$

όπου κυμαίνεται από το 0 έως το 1. Εδώ το  $y_i$  είναι η έξοδος του  $i$ -οστού κόμβου και το  $w_i$  είναι το ζυγισμένο άθροισμα των διάφορων εισόδων του κόμβου.

### 2.3.3 Naive Bayes

Ο αλγόριθμος Naive Bayes (NB), είναι ένας πιθανολογικός κατανομέας που εφαρμόζει το θεώρημα του Bayes. Θεωρεί ότι η παρουσία ενός συγκεκριμένου στοιχείου μιας κλάσης είναι μη συσχετιζόμενο με οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό. Ο αλγόριθμος αυτός ορίζεται ως εξής:

$$\text{Classify} (f_1, \dots, f_n) = \operatorname{argmax} \prod_{i=1}^n p (F_i = f_i | C = c)$$

όπου το  $C$  συμβολίζει μια μεταβλητή κλάσης και οι  $F_1, \dots, F_n$  είναι χαρακτηριστικές μεταβλητές. Ο υπολογισμός των παραμέτρων στο συγκεκριμένο αλγόριθμο, γίνεται συνήθως προσεγγίζοντας τη μέγιστη πιθανότητα. Αν και η βασική υπόθεση του αλγορίθμου είναι μερικές φορές υπεραπλουστευμένη για πολλά πραγματικά γεγονότα, έχει δουλέψει εξαιρετικά και όπως αναφέρθηκε πιο πριν, μερικές φορές καλύτερα άλλων πιο πολύπλοκων αλγορίθμων του είδους.

## 2.4 Πείραμα Σύγκρισης Αλγορίθμων SVM, MLP, NB

Στο συγκεκριμένο άρθρο οι τρεις προαναφερθέντες αλγόριθμοι, ο Support Vector Machine (SVM), ο Multilayer Perceptron (MLP) και ο Naive Bayes (NB), δοκιμάζονται και συγκρίνονται οι επιδόσεις τους. Οι λόγοι που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι τρεις να δοκιμαστούν, από ένα μεγάλο σύνολο άλλων αλγορίθμων πρόβλεψης, είναι ότι ο SVM χρησιμοποιείται ήδη ευρέως σε πολλά ερευνητικά προγράμματα, ο MLP γιατί είναι ένα είδος συστήματος νευρώνων που επίσης έχει διαδεδομένη χρήση και ο NB βασίζεται στην πιθανότητα (probability) και παρά την πολύ απλή του αρχιτεκτονική, πολλές φορές μπορεί να υπερκεράσει πολλούς άλλους αλγόριθμους πιο περίπλοκους από αυτόν.

Το πείραμα σύγκρισης των τριών αλγορίθμων, χωρίζεται σε 3 στάδια. Το πρώτο στοχεύει στην ανάλυση της αποδοτικότητας των τριών αλγορίθμων στην πρόβλεψη της άνεσης των χρηστών. Στο δεύτερο κομμάτι μελετάται το κατά πόσο επηρεάζει ο αριθμός του δείγματος που συμμετείχε στο πείραμα. Το τρίτο και τελευταίο κομμάτι επικεντρώνεται στο κατά πόσο οι διαφορές των συνηθειών του κάθε χρήστη επηρεάζουν τα αποτελέσματα του κάθε αλγορίθμου.

Στο πείραμα συμμετείχαν συνολικά 32 διαφορετικοί χρήστες. Ο κάθε ένας πρέπει να συμπληρώσει ένα ερωτηματολόγιο που να αναφέρεται για το πως τον εξυπηρετεί η χρήση κάποιων συγκεκριμένων συσκευών για διάφορες ρυθμίσεις χρήσης. Τέσσερις συσκευές λήφθηκαν υπόψη (κλιματιστικό, φούρνος, πλυντήριο πιάτων, πλυντήριο και στεγνωτήριο ρούχων). Ο λόγος της επιλογής τους, ήταν για το ότι όλες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ρεύματος κατά τη λειτουργία τους, καθώς και ότι είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται κατά κόρον.

Στον κάθε χρήστη δόθηκαν αρκετές επιλογές για τη θερμοκρασία του κλιματιστικού και αρκετές διαφορετικές ώρες χρήσης για την κάθε συσκευή για να διαλέξει. Το επίπεδο άνεσης για την κάθε μία κυμαίνεται από το 1-5 με το 5 να αντιπροσωπεύει την ιδανική κατάσταση για τον χρήστη και το 1 τη λιγότερο ικανοποιητική. Ο χρήστης καλούνταν να αξιολογήσει συνολικά 256 διαφορετικούς συνδυασμούς.

Στη συνέχεια τα δεδομένα εισήχθησαν στους αλγορίθμους για να προκύψουν τα αποτελέσματα, προκύπτοντας συμπεράσματα για τις καταναλωτικές συνήθειες του κάθε χρήστη καθώς και για την αποδοτικότητα του κάθε αλγορίθμου.

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, παρατηρήθηκαν αρκετές αποκλίσεις στη χρήση των προτιμήσεων στις συσκευές. Οι χρήστες με ευέλικτα προγράμματα έχουν πολύ μι-



κρές αποκλίσεις στο επίπεδο άνεσής τους, ενώ χρήστες με πολύ αυστηρούς περιορισμούς στο πρόγραμμά τους, για την κάθε χρονική περίοδο, παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στα επίπεδα άνεσής τους και προσαρμογής σε κάποια φόρμουλα που ευνοεί τη σωστή χρήση του έξυπνου δικτύου.

#### 2.4.1 Πρώτο στάδιο πειράματος: Σύγκριση απόδοσης των αλγορίθμων SVM, MLP, NB

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το κάθε άτομο που έλαβε μέρος στο πείραμα, χωρίστηκαν ισομερώς σε δύο μέρη: σε αυτά που θα χρησιμοποιηθούν για την εκμάθηση του αλγορίθμου και σε αυτά για την αξιολόγηση της απόδοσής του. Από τα αποτελέσματα του συνόλου των ατόμων που ρωτήθηκαν προκύπτει ο μέσος όρος, από τον οποίο φαίνεται η ακρίβεια πρόβλεψης του κάθε αλγορίθμου.

Algorithm	Accuracy (%)
SVM	94.27
MLP	91.09
NB	78.81

**Πίνακας 6: Ποσοστά επιτυχημένης πρόβλεψης των τριών αλγορίθμων**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 6 ο SVM παρουσιάζει τον καλύτερο μέσο όρο, κατά 3.27% του MLP και 15.46% του NB. Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης SVM και MLP είναι σχετικά κοντά ποσοστιαία όσον αφορά την ακρίβεια πρόβλεψης καθώς χρησιμοποιούν παρόμοια στρατηγική αξιοποίησης των δεδομένων που τους εισάγονται. Γενικώς ο MLP χρειάζεται περισσότερα δεδομένα για να έχει σωστά αποτελέσματα και ισορροπία μεταξύ δεδομένων εισόδου και εξόδου. Αντιθέτως ο SVM, χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο κομμάτι δεδομένων των δειγμάτων προς εκμάθησή του, που είναι υποστηρικτικά διανύσματα που βρίσκονται κοντά στα όρια των αποφάσεων. Έτσι καθώς ο αριθμός του δείγματος είναι μικρός, ο SVM παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα.

Ο αλγόριθμος NB παρουσιάζει αρκετά χειρότερα αποτελέσματα των άλλων δύο. Αυτό συμβαίνει γιατί υποθέτει ότι η παρουσία ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού δεν

σχετίζεται με την παρουσία οποιουδήποτε άλλου. Στη δική μας όμως περίπτωση, με τον συνδυασμός όλων των χαρακτηριστικών προκύπτει το επίπεδο άνεσης του κάθε χρήστη, κάτι το οποίο αντιτίθεται στη βασική υπόθεση του NB με αποτέλεσμα τα πενιχρά του αποτελέσματα.

#### **2.4.2 Δεύτερο στάδιο πειράματος: Αριθμός δειγμάτων εκμάθησης σε σχέση με ακρίβεια πρόβλεψης**

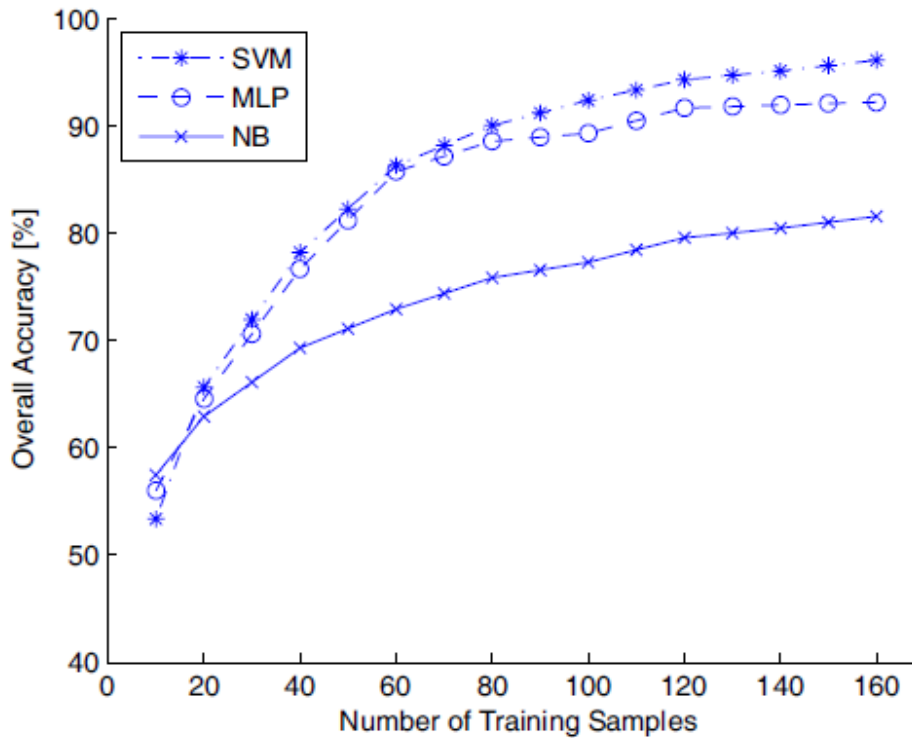
Προβλέποντας το επίπεδο άνεσης του χρήστη επιτυχώς θα αποτελούσε ένα μεγάλο επίτευγμα στα έξυπνα δίκτυα, αλλά αυτό πρέπει να γίνει μέσω λίγων και ποιοτικών ερωτήσεων αντί μεγάλων ερωτηματολογίων, διευκολύνοντας έτσι το χρήστη. Επομένως ο ιδανικός αλγόριθμος είναι αυτός ο οποίος χρησιμοποιώντας ένα σχετικά μικρό δείγμα παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα πρόβλεψης,

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου σταδίου του πειράματος. Όπως αναφέρθηκε και πριν, από το δείγμα των 256 ερωτήσεων, οι μισές χρησιμοποιήθηκαν για την εκμάθηση του αλγορίθμου και οι άλλες μισές για τον έλεγχο της αποδοτικότητάς του. Ο αριθμός των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για εκμάθηση κυμαίνονται από το 20 έως το 160.

Παρατηρώντας τον πίνακα 7, παρατηρείται ότι καθώς ανεβαίνει ο αριθμός των δεδομένων ανεβαίνει το ποσοστό επιτυχίας στην πρόβλεψη, κάτι που είναι φυσιολογικό καθώς στην αρχή ο αλγόριθμος δεν γνωρίζει τίποτα για το χρήστη και στη συνέχεια αξιοποιώντας τα δεδομένα που του δίνονται μπορεί να 'κατανοήσει' τι ικανοποιεί τις ανάγκες του χρήστη καλύτερα.

Πιο λεπτομερώς, ο SVM είναι καλύτερος από τους άλλους δύο. Μέχρι τον αριθμό 60 των δειγμάτων έχει περίπου ίδια ακρίβεια με τον MLP αλλά μετά τον ξεπερνά. Αυτό συμβαίνει λόγω της αρχιτεκτονικής των δύο αλγορίθμων, καθώς ο MLP βασίζεται σε ένα πιο περίπλοκο σχέδιο υπολογισμού σε σχέση με τον SVM, εξού και η διαφορά αποδοτικότητάς τους.

**Πίνακας 7: Συνολική ακρίβεια σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να την εκμάθηση του αλγορίθμου**

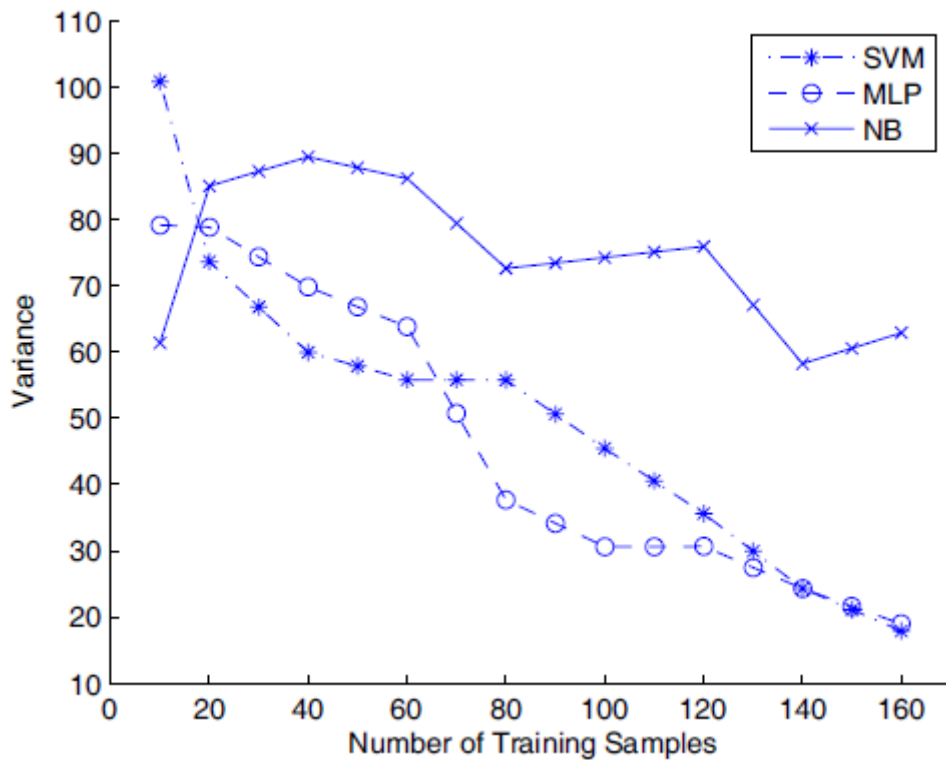


### 2.4.3 Τρίτο στάδιο πειράματος: Διακύμανση στην ακρίβεια πρόβλεψης για τους SVM, MLP, NB

Τα μοτίβα χρήσης των διαφόρων συσκευών αλλάζουν από χρήστη σε χρήστη. Ένας χρήστης που περνάει τις μεσημεριανές ώρες του καλοκαιριού στο σπίτι του, είναι πολύ πιθανόν να χρειάζεται κλιματισμό, ενώ για έναν άλλο που εκείνες τις ώρες είναι στη δουλειά δεν είναι αποδεκτή η χρήση του κλιματιστικού. Κατά συνέπεια η ικανότητα ενός αλγορίθμου να διαχειρίζεται καταστάσεις με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας που αφορούν τη διακύμανση στις προτιμήσεις των χρηστών προτιμάται.

Στο τρίτο στάδιο του πειράματος λοιπόν, για να δείξουμε την ευρωστία του κάθε αλγορίθμου, για διαφορετικά μοτίβα χρήσης, συγκρίνουμε τη διακύμανση στην ακρίβεια της πρόβλεψής τους.

**Πίνακας 8: Εύρος στην ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να την εκμάθηση του αλγορίθμου**



Όπως φαίνεται στον πίνακα 8, η διακύμανση των SVM και MLP ξεκινάει σε υψηλά επίπεδα, αλλά πέφτει καθώς περισσότερα δείγματα λαμβάνονται υπόψιν, σε αντίθεση με τον NB όπου παρατηρείται μεγάλη διακύμανση με μια ελαφριά πτώση της όταν χρησιμοποιούνται πολλά δεδομένα εκμάθησης.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι όταν οι SVM και MLP χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των ιδανικών συνθηκών άνεσης του χρήστη, αρχικά, όταν τα δεδομένα που τους εισάγονται δεν είναι άφθονα, η ακρίβεια στην πρόβλεψη μπορεί να μην είναι ικανοποιητική. Αυτό γιατί κάποιος χρήστης μπορεί να λαμβάνουν υψηλή ακρίβεια από το σύστημα, ενώ άλλοι να μην είναι ικανοποιημένοι από αυτά που τους προσφέρονται, καθώς δεν εξυπηρετούν τις ανάγκες τους. Μόνο ύστερα από εισαγωγή αρκετών δεδομένων όλοι οι χρήστες φτάνουν στο σημείο να δέχονται υψηλής ακρίβειας προβλέψεις.

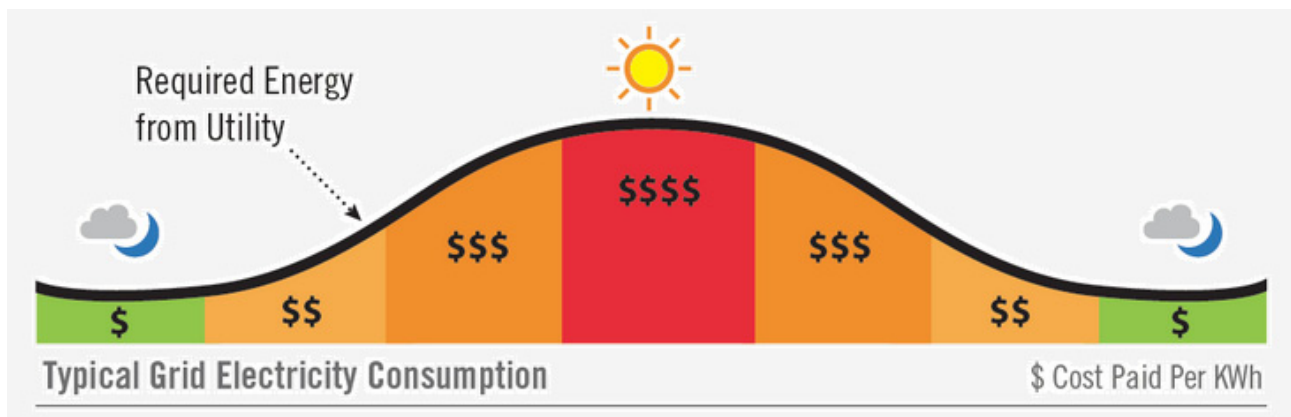
#### 2.4.4 Συμπεράσματα

Σε αυτό το πείραμα παρουσιάστηκε μία μέθοδος πρόβλεψης της άνεσης των χρηστών χρησιμοποιώντας κάποιους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και εισάγοντάς τους

για δεδομένα, τις προτιμήσεις των χρηστών και τις καταναλωτικές τους συνήθειες. Αποδείχθηκε ότι οι αλγόριθμοι πρόβλεψης είναι κατάλληλοι για αυτόν τον σκοπό.

Συγκρίνοντας τους τρεις αλγόριθμους, προέκυψε ότι ο Support Vector Machine (SVM) παρουσίασε την καλύτερη ικανότητα πρόβλεψης του ιδανικού επιπέδου άνεσης του χρήστη. Ο Multilayer Perceptron (MLP), ήταν κοντά στο επίπεδο του SVM, αλλά με λίγο χειρότερη απόδοση στην ακρίβεια. Ο SVM παρουσίασε υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα με μικρό σχετικά δείγμα, σε αντίθεση με τον MLP που απαιτούσε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων για να πιάσει υψηλή απόδοση. Και οι δύο αλγόριθμοι παρουσίασαν μεγάλη διακύμανση στην ακρίβεια των προβλέψεών τους όταν ο αριθμός των δεδομένων που του είχαν εισαχθεί ήταν μικρός, αλλά με αρκετά δεδομένα εκμάθησης μείωσαν τη διακύμανση στο ελάχιστο. Αρκετά μακριά από τους άλλους δύο, ο Naive Bayes (NB), εμφάνισε την μικρότερη ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τους άλλους δύο, με τη μεγαλύτερη διακύμανση στην ακρίβεια πρόβλεψης.

## 2.5 Μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης



Εικόνα 31: Μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης

Σε προηγούμενες ενότητες αναλύσαμε τα βασικά θεμέλια για την δημιουργία ενός δικτύου το οποίο μέσω της διαρκής και αμφίπλευρης επικοινωνίας του χρήστη με όλα τα υπόλοιπα κομμάτια του δικτύου, καθώς και με τη βοήθεια διάφορων αλγορίθμων πρόβλεψης θα παρέχει στον καταναλωτή, εύκολα και αποδοτικά, ρυθμιστικά μοτίβα ενεργειακής οικιακής αυτοματοποίησης .

Επιπρόσθετα όμως αυτών των υποδομών, έξυπνοι τρόποι και μέθοδοι, αναδεικνύουν τη λειτουργία τους και αυξάνουν την αποδοτικότητά τους. Μικρές λεπτομερείς, αλλά σημαντικές σαν τεχνικές μπορούν να κάνουν αισθητή διαφορά μεταμορφώνοντας το σύστημα και κάνοντάς το πιο φιλικό και κοντά στο χρήστη. Τέτοιες τεχνικές μπορεί να είναι η ανταπόκριση στη ζήτηση, η διαχείριση της ζήτησης, η δυναμική τιμολόγηση, η τιμολόγηση με βάση την ώρα χρήσης, η διάσπαρτη παραγωγή κτλ.

Όλα αυτά συνδυασμένα μεταξύ τους και ειδικά με τους αλγόριθμους που αναφέραμε πριν, εφαρμοσμένοι πάνω σε μια στέρεα υποδομή έξυπνου δικτύου, δημιουργούν διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

### **2.5.1 MREODP (Modeling for Residential Electricity Optimization in Dynamic Pricing Environments)**

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, ο χρήστης προμηθεύεται με έναν έξυπνο μετρητή, μιας μικρής κλίμακας γεννήτρια παραγωγής ρεύματος (φωτοβολταϊκό σύστημα, τουρμπίνα αέρα) και ένα αποθηκευτικό μέσο. Αυτά χρησιμοποιούνται με βάση τις ανάγκες του χρήστη και το περίσσειμα ενέργειας σε ώρες αιχμής μπορεί να πωληθεί.

Προσπαθώντας να συνδυαστούν, η άνεση του χρήστη και η ελαχιστοποίηση του λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίζουμε τις ηλεκτρικές συσκευές σε δύο κατηγορίες: ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες.

Ως ελεγχόμενες συσκευές εννοούμε αυτές στις οποίες ο χρήστης επιδέχεται μηδενική καθυστέρηση στη λειτουργία τους και ανοιγοκλείνουν απευθείας, όπως η τηλεόραση ο φούρνος και τα φώτα. Οι συγκεκριμένες συσκευές είναι τελείως διαχωρισμένες από το σύστημα.

Στις μη ελεγχόμενες συσκευές κατατάσσουμε το κλιματιστικό, τη θέρμανση κτλ., με ελαστικά φορτία αναλόγως με τις ανάγκες του κάθε χρήστη. Το συγκεκριμένο ηλεκτρικό σύστημα λειτουργεί κάτω από κάποιους περιορισμούς, που σχετίζονται με το σχεδιασμό του όλου συστήματος, την άνεση του κάθε χρήστη, καθώς και από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Καταρχάς, το σύστημα περιορίζεται από τη χωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου, όπως και το ρυθμό φόρτισης και αποφόρτισής του. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την αποθηκευμένη ενέργεια για την άνεσή του στις ώρες αιχμής, όπου και οι τιμές είναι ιδιαίτερα υψηλές.

Οι καιρικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο και η έγκαιρη ενημέρωση για αυτές αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος. Η πρόβλεψη του καιρού της τρέχουσας ημέρας αλλά και των αμέσως επόμενων είναι απαραίτητη, ώστε να είμαστε προετοιμασμένοι για την κατάλληλη φόρτιση του μέσου. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε ήδη, μείζον κομμάτι του συγκεκριμένου μοντέλου αξιοποίησης ενέργειας, είναι ο σχεδιασμός του συστήματος. Οι συσκευές με ελαστική χρήση όπως το πλυντήριο πιάτων, το πλυντήριο ρούχων ή το στεγνωτήριο πρέπει να χρονοπρογραμματίζονται στις κατάλληλες στιγμές, ώστε ο χρήστης να απολαμβάνει τη μέγιστη άνεση, καθώς και τη βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι περιορισμοί στην ιδανική περίπτωση άνεσης του χρήστη στο  $T_r$  σε σχέση με το  $D$ , μεταφέρονται σε δύο συναρτήσεις  $T_i^{r,min}$  ορισμένη στο  $D$  και εξαρτώμενη με βάση την υποδιαίρεση του  $d$

$$\forall i \in [1, N] \quad T_i^{r,min} \leq T_i^{r,0} \leq T_i^{r,max}$$

$T_r$  είναι η θερμοκρασία του δωματίου,  $D$  είναι ο χρονικός ορίζοντας και  $d$  είναι ένα διάστημα σε αυτόν τον χρονικό ορίζοντα. Ο  $\delta_j^L$  είναι παράγοντας προγραμματισμού των συσκευών με  $\delta_j^L \in [1, 0]$ . Επιπλέον, βασιζόμενοι στις προτιμήσεις άνεσης του χρήστη, θεωρώντας το κάθε ένα ελεγχόμενο, το μη διακόψιμο φορτίο  $L$ , μια σειρά θέσεων  $\Omega^L$  σε σχέση με ποιο φορτίο  $L$  δεν μπορεί να λειτουργήσει ορίζεται:

$$\forall j \in \Omega^L, \quad \delta_j^L = 0$$

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι τιμές που παρέχονται από τον πάροχο ηλεκτροδότησης επηρεάζουν και αυτές την άνεση του χρήστη και την πληρωμή του λογαριασμού ηλεκτρικού ρεύματος.

### 2.5.2 IMEM (Intelligent home energy management system to improve demand response)

Το συγκεκριμένο μοντέλο επικεντρώνεται την πρόβλεψη κατανάλωσης φορτίου στο σπίτι, παρουσιάζοντας ένα καινοτόμο σχήμα προγραμματισμού των οικιακών συσκευών, που χρησιμοποιεί το μοντέλο της δυναμικής τιμολόγησης.

Οι ηλεκτρικές συσκευές ενός οικιακού σπιτιού μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: αυτές που είναι διαρκώς ανοιχτές, όπως το ψυγείο και αυτές τις οποίες μπορούμε να προγραμματίσουμε τη χρήση τους σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα που μας εξυπηρετεί, όπως το πλυντήριο των ρούχων. Οι καθημερινές ανάγκες του χρήστη θεωρείται ότι μπορούν να προγραμματιστούν αποδοτικά, στοχεύοντας στην οικονομία, πάντα αλληλένδετα με τους περιορισμούς του κάθε χρήστη και της τιμολόγησης ανά ώρα της υπηρεσίας παροχής ρεύματος.

Για να συμβεί αυτό είναι απαραίτητη η χρήση μιας εφαρμογής, η οποία με βοήθεια ενός αλγορίθμου, θα χρησιμοποιεί δεδομένα από παλιότερη χρήση των συσκευών, ώστε αυτές να λειτουργούν αποδοτικά και όσο το δυνατόν πιο κοντά στην άνεση του χρήστη. Θα είναι αυτο-προγραμματιζόμενο και δεν θα χρειάζεται να ρυθμιστούν οι συσκευές σύμφωνα με αυτό, ούτε περειαίρω ρυθμίσεις από τον χρήστη. Έτσι θα επιτυγχάνεται μέγιστη οικονομία και βέλτιστη άνεση του χρήστη.

Το σύστημα αυτό θα βασίζεται στη διαρκή επικοινωνία μεταξύ χρήστη και υπηρεσίας ηλεκτροδότησης, εξυπηρετώντας και τις δύο πλευρές. Από τη μία ο χρήστης θα επωφελείται από τη δυναμική τιμολόγηση προγραμματίζοντας για τότε τις περισσότερες ενεργειακές του ανάγκες και από την άλλη η εταιρία ηλεκτροδότησης για μεταφέρει μέσω του συστήματος τη λειτουργία ορισμένων συσκευών που της επιτρέπεται σε ώρες που την εξυπηρετούν, για να μειώσει την καμπύλη ζήτησης.

Στο χρήστη προσφέρονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- 1) Βέλτιστη αποδοτικότητα στον ενεργειακό προγραμματισμό με οικονομικά οφέλη.
- 2) Μέγιστη απόδοση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας που μπορεί να έχει εγκατεστημένες ο χρήστης, χρησιμοποιώντας τις ηλεκτρικές συσκευές όταν αυτές οι πηγές είναι διαθέσιμες.
- 3) Μέγιστη άνεση χρήστη αφού το σύστημα θα έχει μάθει τις καταναλωτικές του συνήθειες και θα κάνει αποδοτικό συνδυασμό τους με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.



Ο χρήστης μπορεί να ενημερώνεται καθημερινά, εβδομαδιαία, ή μηνιαία, για την ηλεκτρική του κατανάλωση και να δέχεται συμβουλές, ώστε να μην ξεφεύγει από τον προϋπολογισμό που έχει κάνει. Το σύστημα βασίζει τις αποφάσεις του στα εξής κριτήρια:

- Πρόβλεψη ώρας μέγιστου φορτίου
- Δυναμική τιμολόγηση
- Ενεργειακές καταναλωτικές συνήθειες καταναλωτή και προϋπολογισμός
- Κοινωνικοί και περιβαλλοντολογικοί παράγοντες
- Διαθέσιμη ενέργεια από εναλλακτικές πηγές

Οι μόνες επεμβάσεις του χρήστη στο σύστημα είναι για τον αναγκαστικό τερματισμό ή ενεργοποίηση κάποιας συσκευής, καθώς και για την ενημέρωση τεχνικών χαρακτηριστικών, όπως πιθανές εγκατεστημένες πηγές εναλλακτικής ενέργειας, μέγιστη χωρητικότητα αποθηκευτικού μέσου αυτών των πηγών κτλ.

Το σύστημα διαρκώς μελετά τις ενέργειες του χρήστη ώστε να δημιουργεί διαρκώς καλύτερα μοντέλα πρόβλεψης και τα προσαρμόζει με βάση δύο γενικά κριτήρια:

- i. Ώρα και εποχή
- ii. Καιρός (περιλαμβανομένων των ακραίων καιρικών συνθηκών)

Το σύστημα βρίσκεται σε μια διαρκή αλληλεπίδραση με το χρήστη και την εταιρία ηλεκτροδότησης αποσκοπώντας στο καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Δημιουργεί διαρκώς καλύτερα προγράμματα χρήσης των συσκευών και επιτρέπει στο χρήστη να τα διορθώνει και να προσθέτει δικά του.

### **2.5.3 GABOEM (Genetic-algorithm-based optimization approach for energy Management)**

Ο καλύτερος τρόπος διαχείρισης της ενέργειας, είναι αυτός που καλύπτει τον κάθε χρήστη ξεχωριστά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια εναλλακτική μέθοδος ηλεκτροδότησης και ειδικά όταν είναι υπό τον έλεγχο του χρήστη προσφέρουν μεγάλη οικονομία και άνεση. Στη συγκεκριμένη μέθοδο επικεντρωνόμαστε κυρίως σε αυτές της πηγές

ενέργειας, που βρίσκονται στην ιδιοκτησία του χρήστη, σχεδόν εκμηδενίζοντας τις κλασικές μεθόδους στις οποίες εμπλέκονται οι υπηρεσίες ηλεκτροδότησης.

Αυτός ο τύπος συστήματος είναι βασισμένος στις ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ενέργειας, στις επαναφορτιζόμενες αποθηκευτικές μονάδες και στον υπολογισμό των απαιτήσεων των χαρακτηριστικών του συστήματος.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές βελτιστοποίησης για το σωστό σχεδιασμό και λειτουργία τέτοιων υβριδικών συστημάτων. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο είναι η fuzzy C-Means (FCM). Στην FCM ένα δεδομένο μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία ομάδα δεδομένων και με κάθε μέλος να σχετίζεται ένα γκρουπ από επίπεδα μελών. Στη συγκεκριμένη κατάσταση, η PCM βασίζεται στη δημιουργία ομάδων δεδομένων, για το χαρακτηρισμό δευτερευόντων μεταβλητών. Η κύρια λειτουργία της, είναι να ελαχιστοποιήσει την απόσταση από οποιοδήποτε δοσμένο δεδομένο, μέχρι το σύμπλεγμα δεδομένων με το σωστό ειδικό βάρος που αντιστοιχεί.

Ένας επαναληπτικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να ενημερώνει τα διάφορα συμπλέγματα για κάθε αλλαγή δεδομένων που υπάρχει. Ο αριθμός των συμπλεγμάτων ορίζεται με τη μέθοδο του αγκώνα (elbow method). (Επιγραμματικά μιλώντας για τη μέθοδο του αγκώνα εννοούμε τη μέθοδο εκείνη που χρησιμοποιούμε για τον καθορισμό του αριθμού των συμπλεγμάτων (clusters), κατά την οποία βρίσκουμε έναν αριθμό συμπλεγμάτων στον οποίο προσθέτοντας ένα σύμπλεγμα δεν έχει ουσιαστική διαφορά στην καλύτερη μοντελοποίηση των δεδομένων. Το όνομα της μεθόδου προκύπτει από την απεικόνιση του διαγράμματος, στο οποίο, στο σημείο όπου το οριακό κέρδος πέφτει απότομα σχηματίζεται μία γωνία, που ονομάζεται αγκώνας.) Έτσι οι μέρες χωρίζονται σε 10 συμπλέγματα, με παρόμοιες περιόδους ταχύτητας αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας και φόρτου ρεύματος. Το κάθε σύμπλεγμα αντιπροσωπεύεται από τρία σετ των 24 ανεξάρτητων PDFs (Probability Density Function) μέσα στο εικοσιτετράωρο. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο φόρτος των επόμενων ωρών και ημερών και διασφαλίζεται η άνεση του χρήστη και η οικονομία, καθώς αν ο υπολογισμός είναι σωστός η καμπύλη ζήτησης παραμένει σταθερή εξασφαλίζοντας καλύτερες τιμές.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα για παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες, αναθέτουμε τους παράγοντες κλιμάκωσης  $apu$  και  $aw$  για να αποκτήσουμε τη συνάρτηση ελάχιστου κόστους:

$$MinCost = Min \{ C_{pu} \cdot apu + C_w \cdot aw + C_s \cdot S + C_p \cdot P \}$$

$C_{pu}$  → Κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος

$C_w$  → Κόστος εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας

$C_s$  → Κόστος εγκατάστασης του αποθηκευτικού μέσου

$C_p$  → Κόστος της ονομαστικής ισχύος του αποθηκευτικού μέσου

$S$  → Μέγιστη χωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου

$P$  → Μέγιστη ονομαστική ισχύς του αποθηκευτικού μέσου

$apu$  → Εγκατεστημένη χωρητικότητα του φωτοβολταϊκού συστήματος

$aw$  → Εγκατεστημένη χωρητικότητα της ανεμογεννήτριας

Η ωριαία παραγωγή ρεύματος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι σταθερή, αφού εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, που είναι υπεράνω του ανθρώπινου ελέγχου. Έτσι μεγάλη βοήθεια για την ομαλή λειτουργία του συστήματος είναι μεταφορά φορτίου. Με αυτό εννοούμε τη μεταφορά ενός μέρους της ενεργειακής κατανάλωσης σε περιόδους που υπάρχει αυξημένη παραγωγή ρεύματος από τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η μεταφορά φορτίου ορίζεται ως:

$$L'_t = L_t - L_{s,t}$$

$$L'_{t+1} + L_{t+1} - L_{s,t}$$

το  $L_t$  είναι η απαίτηση για φορτίο την χρονική στιγμή  $t$ , το  $L_{s,t}$  είναι το απαιτούμενο φορτίο για μεταφορά τη στιγμή  $t$  και το  $L'_t$  είναι το μεταφερόμενο φορτίο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τιμή του μεταφερόμενου φορτίου είναι θετική και είναι μικρότερη από το  $(\delta)$  ποσοστό του φορτίου οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

$$0 \leq L_{s,t} \leq \delta \cdot L_t$$

Ένα ποσοστό  $\delta$  του φορτίου μεταφέρεται την επόμενη ώρα  $t$ . Μετά υπολογίζεται η συνάρτηση καταλληλότητας και ο συντελεστής ( $\gamma$ ) τοποθετείται στους πιθανολογικούς περιορισμούς

$$P(X \leq X_{min}) \leq \gamma$$

Οι περιορισμοί ελέγχονται για τυχόν παραβάσεις. Αν υπάρχει κάποια παράβαση, αναθέτεται στους παραβιασμένους περιορισμούς ένας μεγάλος συντελεστής ποινής ( $u$ ) και συνδυαζόμενος με την συνάρτηση καταλληλότητας προκύπτει:

$$f'(x,u) = f(x,u) + u [h(x,u)]^2$$

Η συνάρτηση καταλληλότητας του Genetic-Algorithm (GA) είναι το ζυγισμένο άθροισμα του κόστους εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος για όλα τα συμπλέγματα και δίνεται από τη σχέση:

$$FitnessFunction = Min \{ \sum_{c=1}^c w_c \cdot Cost_c \}$$

Το  $c$  είναι ο αριθμός του συμπλέγματος. Ο συντελεστής για κάθε σύμπλεγμα  $w_c$  ορίζεται ως η αναλογία του αριθμού των ημερών μέσα στο σύμπλεγμα σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των ημερών ( $365 * 10$  ημέρες). Ελαχιστοποιώντας το κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος, μας βοηθά στην επιλογή του βέλτιστου φωτοβολταϊκού συστήματος, ανεμογεννήτριας και αποθηκευτικού μέσου για να τροφοδοτηθεί το σύστημα και να λειτουργήσει στο επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης χωρίς την ανάγκη συμπληρωματικής πηγής ενέργειας.

## 2.5.4 AIHEMDR (Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response analysis)

Η Ανταπόκριση στη Ζήτηση (Demand Respond (DR)), είναι το βασικό στοιχείο που χρειάζεται να συμβαίνει, ώστε να ωφελούνται και ο καταναλωτής και ο πάροχος. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, γίνεται ανάλυσή της, στο πλαίσιο ενός οικιακού κτιρίου και χωρίζεται σε τρεις τύπους αυτοματισμού:

- a) Χειροκίνητη DR
- b) Ημι-αυτόματοποιημένη DR
- c) Πλήρως αυτοματοποιημένη DR

Η πλήρως αυτοματοποιημένη ανταπόκριση στη ζήτηση, είναι ένα συνηθισμένο μοντέλο αυτοματοποιημένου τύπου στα έξυπνα σπίτια, που χρησιμοποιούν συστήματα ενεργειακής διαχείρισης (Home Energy Management system (HEM)). Ένα σύστημα HEM είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία και το συντονισμό των οικιακών συσκευών, καθώς και για την απαιτούμενη μετατόπιση φορτίου με βάση κάποια σάνταρ.

Πριν μπορέσει ένας αλγόριθμος HEM να λειτουργήσει, πρέπει να οριστούν οι ενεργειακές προτεραιότητες και οι προτιμήσεις άνεσης του χρήστη. Οι ενεργειακές προτεραιότητες καθώς και το όριο μέγιστης κατανάλωσης είναι ζωτικής σημασίας για τον αλγόριθμο, γιατί αυτό το όριο ξεπεραστεί, τότε είναι ευθύνη του αλγορίθμου να επιλέξει ποιες συσκευές θα απενεργοποιήσει, πάντα με βάση τη λίστα προτεραιότητας, ώστε να βρεθούμε κάτω από όριο κατανάλωσης που έχουμε θέσει.

Αν υπάρξει μια παράβαση στο επίπεδο άνεσης του χρήστη τότε ο αλγόριθμος επιλέγει ποια από συσκευές πρέπει να ενεργοποιήσει, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του χρήστη. Ύστερα η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση συγκρίνεται με το όριο μέγιστης κατανάλωσης.

Αν βρισκόμαστε κάτω από το όριο κατανάλωσης και η άνεση του χρήστη είναι στο επιθυμητό επίπεδο, δεν συμβαίνει καμία αλλαγή. Στην περίπτωση που ανιχνευθεί παράβαση στην άνεση του χρήστη για μια συγκεκριμένη συσκευή, τότε ο HEM θα ενεργοποιήσει τη συσκευή για να αυξήσει την άνεση του χρήστη. Αν βρισκόμαστε πάνω από το όριο κατανάλωσης και δεν υπάρχει πρόβλημα με την άνεση του χρήστη, τότε ξεκινώντας από τη λιγότερο σημαντική συσκευή, αρχίζουμε να απενεργοποιούμε, μέχρι να πιάσουμε το επιθυμητό όριο κατανάλωσης.

Αν βρισκόμαστε στη δυσχερή κατάσταση, στην οποία, είμαστε πάνω από το όριο μέγιστης κατανάλωσης και επισημανθεί παράβαση της άνεσης του χρήστη λόγω απενερ-

γοποίησης μιας συγκεκριμένης συσκευής (APP), τότε ο αλγόριθμος συγκρίνει τις προτεραιότητες όλων των ενεργοποιημένων συσκευών, με αυτή της συσκευής APP και απενεργοποιεί όσες συσκευές έχουν χαμηλότερο δείκτη προτεραιότητας από τη συγκεκριμένη συσκευή. Έτσι καλύπτεται το χάσμα στην άνεση του χρήστη και επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των εξόδων.

### 2.5.5 DSMSGH (Demand Side Management in Smart Grid using Heuristic optimization)

Η διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management (DSM)), είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο των έξυπνων δικτύων, που επιτρέπει σε ένα καταναλωτή να παίρνει αποφάσεις σχετικά με το επίπεδο άνεσής και ταυτόχρονα με το πόσο ενέργεια καταναλώνει.

Όπως έχει αναφερθεί, η ομορφιά των έξυπνων δικτύων, είναι η ισορροπία στη σχέση της άνεσης του χρήστη, με την μεταφοράς φορτίων, ώστε να εξομαλύνεται η καμπύλη ζήτησης στην πλευρά της εταιρίας παροχής ρεύματος. Λάθος διαχείριση της μεταφοράς φορτίου σημαίνει μη ικανοποίηση στην άνεση του χρήστη και υψηλές τιμές από τη μία και πιθανές διακοπές ρεύματος από την άλλη.

Η μετάβαση από το κλασσικό υπάρχον δίκτυο σε ένα έξυπνο δίκτυο, δίνει νέες δυνατότητες, αλλά κρύβει και αρκετές προκλήσεις. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω της μη προβλεψιμότητας των καιρικών συνθηκών, κάνει επιτακτική τη μετατόπιση φορτίου, στις ώρες που αποδίδουν βέλτιστα. Επιπλέον, για τη σωστή λειτουργία ενός έξυπνου δικτύου, είναι απαραίτητη η αμφίπλευρη επικοινωνία μεταξύ του κέντρου δικτύου και των υπόλοιπων στοιχείων του συστήματος.

Ο στόχος λοιπόν του DSM είναι η μεγιστοποίηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του οικονομικού κέρδους καθώς και η ελαχιστοποίηση της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον κεντρικό πάροχο, συνάμα μειώνοντας την καμπύλη ζήτησης σε ώρες αιχμής. Ο προτεινόμενος λοιπόν αλγόριθμος, στοχεύει να φέρει την καμπύλη φόρτου όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιθυμητή καμπύλη που αναφέρθηκε πριν.

Η προτεινόμενη αυτή τεχνική εφαρμόζεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\sum_{t=1}^N (P_{Load}(t) - Objective(t))^2$$

Objective(t) → η τιμή της καμπύλης που στοχεύουμε

PLoad(t) → η τιμή της πραγματικής κατανάλωσης τη στιγμή t

Η τιμή του PLoad(t) δίνεται από τη σχέση:

$$PLoad(t) = Forecast(t) + Connect(t) - Disconnect(t)$$

Forecast(t) → υπολογιζόμενη κατανάλωση τη στιγμή t

Connect(t) → ποσότητα φορτίου που συνδέθηκε τη στιγμή t

Disconnect(t) → ποσότητα φορτίου που αποσυνδέθηκε τη στιγμή t

### 2.5.6 OPSSG (Optimal Power Scheduling for Smart Grids)

Η τεχνική αυτή βασίζεται στη Διεσπαρμένη Παραγωγή (Distributed Generation (DG)) και ιδιαίτερα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στη διεσπαρμένη παραγωγή, όταν διαχέεται τάση, πίσω στη γραμμή ρεύματος, δημιουργείται μια απόκλιση τάσης. Αυτή η απόκλιση υπολογίζεται περίπου στα 2 βολτ. Τα ελεγχόμενα φορτία (Controllable Loads (CL)) επίσης βοηθούν στη βελτιστοποίηση του έξυπνου δικτύου. Επομένως προτείνεται να αναπτυχθεί μια τεχνική λήψεως αποφάσεων, με βέλτιστο προγραμματισμό της διάσπαρτης παραγωγής, του αποθηκευτικού συστήματος ενέργειας (Battery Energy Storage System (BESS)), του CL και των ρυθμιστών τάσης (tap transformers).

Στόχος μας είναι να επιτύχουμε τη μείωση των απωλειών στο σύστημα διανομής, με έλεγχο της τάσης και εξομάλυνση της ροής ενέργειας. Η βελτιστοποίηση προκύπτει από την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας και της ποσότητας παραγωγής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη μετάδοση της ενέργειας των ανανεώσιμων πηγών, παρατηρείται αύξηση της τάσης.

Το δίκτυο μας προσφέρει ενεργό ισχύ (active power), ενώ ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αντιδραστική ισχύ (reactive power). Επομένως για τη διάχυση τάσης στο σύστημα

πρέπει πρώτα να γίνει μετατροπή της. Γι αυτό το σκοπό παρέχεται η συνάρτηση Maximum Power Point Tracking (MPPT)

$$Q_{DGK} = \sqrt{S_{DGK} - P_{DGK}}$$

$Q_{DGK}$  → Αντιδραστική ισχύς

$P_{DGK}$  → Ενεργός ισχύς

Το σύστημα για την αποθήκευση της ενέργειας τοποθετείται στο σημείο σύνδεσης για να εξομαλύνει την ροή της ενέργειας. Επιπλέον χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές τάσης για να μεταβάλλουν τα επίπεδα τάσης. Τα ελεγχόμενα φορτία είναι αυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους από τον προγραμματιστή των διεργασιών. Μια τέτοια συνάρτηση για τα ελεγχόμενα φορτία είναι η εξής:

$$\Delta CL = \frac{1}{f(\text{PowerDemand})}$$

$\Delta CL$  → μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση ή μείωση χρησιμοποιούμενης ενέργειας από τα ελεγχόμενα φορτία



### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι αλήθεια πως τα έξυπνα δίκτυα στην τελειοποιημένη τους μορφή κατά την οποία καλύπτουν όλο το φάσμα των καταναλωτών απρόσκοπτα, είναι ακόμα ένα μελλοντικό όραμα. Όμως όπως είδαμε στις παραπάνω ενότητες η αναγκαιότητα για αποδοτική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τα προτερήματα της νέας αυτής τεχνολογίας, ωθούν αποφασιστικά προς αυτήν την κατεύθυνση.

Τα οφέλη είναι πολλά και σε αρκετά επίπεδα. Ένα από αυτά είναι η άμεση και εύκολη ενημέρωση για την καθημερινή τους ηλεκτρική δραστηριότητα. Αξιοσημείωτο είναι και το οικονομικό όφελος για πελάτες και εταιρία παροχής. Το οικονομικό όφελος αποτελεί μια εναλλακτική έκφραση της αξίας της αξιοπιστίας που γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή από τους καταναλωτές. Ουσιαστικά αφορά το κόστος που σε περίπτωση μη εφαρμογής απόκρισης ζήτησης θα επιβάρυνε τους καταναλωτές και την εταιρία παροχής λόγω συχνότερων διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος. Περαιτέρω οφέλη προκύπτουν λόγω εξοικονόμησης ενέργειας από την εφαρμογή σεναρίων μείωσης της κατανάλωσης σε περιόδους αιχμής με ή χωρίς μετατόπιση φορτίου σε άλλες περιόδους. Επιπλέον δεν θα πρέπει να ξεχνάμε και το περιβαλλοντικό όφελος εξαιτίας της μειωμένης εκπομπής ρύπων που πολλές φορές, μέσω της περιβαλλοντικής συνείδησης του καταναλωτή, επιδρά επικουρικά στη χρήση του έξυπνου δικτύου.

Το ενδιαφέρον αυτό είναι φανερό και έμπρακτα, πέρα από τη θεωρία, αν λάβουμε υπόψιν τα αποτελέσματα πολλών πειραμάτων και ερευνών, όπως το προαναφερθέν πείραμα της Ομάχα, που καταδεικνύουν τη στροφή τους προς τις έξυπνες τεχνολογίες. Όταν το περιβάλλον ήταν 'φιλικό', με μετρητές εύκολους στη χρήση και σωστή ενημέρωση για τη βέλτιστη αξιοποίηση των εργαλείων που είχαν, οι χρήστες δείχνουν μεγάλο ενδιαφέρον με πολλά θετικά σημεία να παρατηρούνται. Αυξημένη επικοινωνιακή τριβή με το περιβάλλον τους, προκειμένου να σχολιάσουν τις πρώτες τους εντυπώσεις για το δίκτυο, αυξημένη επίγνωση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και παρότρυνση για εξοικονόμηση ενέργειας, είναι κάποια από αυτά.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν για εργαλεία, τα διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης ηλεκτρικής κατανάλωσης, όπως και τους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, το άλμα προς την δημιουργία και την καθιέρωση του έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου αντικαθιστώντας το κλασικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι κάτι παραπάνω από πιθανό, στο κοντινό μάλιστα μέλλον.

## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

3DES	Triple Data Encryption Algorithm
AES	Advanced Encryption Standard
AIHEMDR	Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response analysis
BESS	Battery Energy Storage System
CL	Controllable Loads
DG	Distributed Generation
DR	Demand Respond
DSM	Demand Side Management
DSMSGH	Demand Side Management in Smart Grid using Heuristic optimization
FAN	Field Area Network
GA	Genetic-Algorithm
GABOAEM	Genetic-algorithm-based optimization approach for energy Management
GPRS	General packet radio service
HAN	Home Area Network
HEM	Home Energy Management system
IMEM	Intelligent home energy management system to improve demand response
IPSec	Internet Protocol Security
ISM	Industrial Scientific Medical
ISO	International Organization for Standardization
MLP	Multilayer Perceptron
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MREODP	Modeling for Residential Electricity Optimization in Dynamic Pricing Environments
NAN	Neighborhood Area Network
NB	Naive Bayes
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OPSSG	Optimal Power Scheduling for Smart Grids
PCM	Power Cost Monitor

PDF	Probability Density Function
PLC	Powerline Communication
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RTM	Real Time Monitor
SEP	Smart Energy Profile
SIM	Subscriber Identity Module
SSH	Secure Shell
SSL	Security Socket Layer
SVM	Support Vector Machine
TLS	Transport Layer Security
VPNs	Virtual Private Networks
WAN	Wide Area Network
ΑΠΕ	Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΜΠΕ	Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
ΣΗΘ	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, "A vision for the modern Grid," March 2007.
- [2] R. Yu, Y. Zhang, S. Gjessing, C. Yuen, S. Xie, M. Guizani, "Cognitive radio based hierarchical communications infrastructure for smart grid," IEEE Network, vol.25, no.5, pp.6-14, September-October 2011.
- [3] S. Massoud Amin and B. F. Wollenberg, "Toward a smart grid: power delivery for the 21st century," IEEE Power and Energy Mag., vol. 3, pp. 34-41, 2005.
- [4] I.Marti, "Evaluation of Advanced Wind Power Forecasting Models," European Wind Energy Conference, Athens, Feb 27- Mar 2, 2006.
- [5] "Waiting for the sunrise (solar energy forecast) (Science and Technology)," The Economist , May 19, 1990.
- [6] P. Tenti, A. Costabeber, and P. Mattavelli, "Improving power quality and distribution efficiency in micro-grids by cooperative control of Switching Power Interfaces," International Power Electronics Conference (IPEC 2010), pp. 472-479, 2010.
- [7] F. M. Cleveland, "Cyber security issues for Advanced Metering Infrastructure (AMI)," Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 2008.
- [8] C. Ten, C. Liu, and M. Govindarasu, "Cyber-vulnerability of power grid monitoring and control systems," In Proceedings of the 4th Annual Workshop on Cyber Security and information intelligence Research (CSIRW '08), Oak Ridge, Tennessee, May 12 - 14, 2008.
- [9] F. Rahimi and A. Ipakchi, "Overview of Demand Response under the Smart Grid and Market paradigms," in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT 2010), pp. 1-7, 2010.
- [10] E. Santacana, et al., "Getting Smart," Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 8, pp. 41-48, 2010
- [11] D. Sun, "The Utilization and Development Strategies of Smart Grid and New Energy," in Proceedings of Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2010), pp. 1-4, 2010.
- [12] C. Jaeseok, J. Park, M. Shahidehpour and R. Billinton, "Assessment of CO2 reduction by renewable energy generators," in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp.1-5, 2010.
- [13] B. Chen, M. Wu; S. Yao, B. Ni, "ZigBee Technology and its Application on Wireless Meter-reading System," IEEE International Conference on Industrial Informatics, Aug. 2006, pp. 1257 - 1260.
- [14] A. Aggarwal, S. Kunta, P. K. Verma, "A proposed communications infrastructure for the smart grid," in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2010, pp. 1-5.
- [15] K. Moslehi and R. Kumar, "A Reliability Perspective of the Smart Grid," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, pp. 57-64, 2010.
- [16] Ye Yan, Yi Qian, Hamid Sharif, and David Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges", IEEE Communication Surveys and Tutorials, Vol 15, No 1, 2013
- [17] Sanja Veleva, Danco Davcev, and Vlastimir Glamocanin, "Dynamic QoS and QoE Balancing Model for Smart Home Energy Management Systems", IEEE, 2012
- [18] Bei Li, Siddharth Gangadhar, Samuel Cheng, and Pramode K. Verma, "Predicting User Comfort Level using Machine Learning for Smart Grid Environments", IEEE, 2011
- [19] Liang Zhou, Joel J. P. C. Rodrigues, and Luís M. Oliveira, "QoE-Driven Power Scheduling in Smart Grid: Architecture, Strategy, and Methodology", IEEE Communications Magazine, May 2012
- [20] Emily Rieur, and Mahmoud Alahmad, "On the Discourse of Energy as Material: Future Feedback Technologies and Directions for Experiencing Energy", IEEE, 2013
- [21] Ilche Georgievski, Viktoriya Degeler, Giuliano Andrea Pagani, Tuan Anh Nguyen, Alexander Lazovik, Marco Aiello, "Optimizing Energy Costs for Offices Connected to the Smart Grid", IEEE, December 2012
- [22] John S. Vardakas, Nizar Zorba, and Christos V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms", IEEE Communication Surveys and Tutorials, Vol 17, No 1, 2015

- [23]Severin Borenstein, Michael Jaske, Arthur Rosenfeld, "Dynamic Pricing, Advanced Metering, and Demand Response in Electricity Markets", Paper CSEMWP-105, 2002
- [24]James Pierce, Diane J. Schiano, and Eric Paulos, "Home, Habits, and Energy: Examining Domestic Interactions and Energy Consumption", Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2010, pp. 1985-1994
- [25]Mahmood, A. Ahmad, H. T. Javed, Z. Mehmood, Z. A. Khan, U. Qasim, and N.Javaid, "A survey of 'user comfort' in home energymanagement systems in smart grid", IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, January 2015, pp. 36-43
- [26]Ozturk, Y., Senthilkumar, D., Kumar, S., Lee, G. (2013). An intelligent home energy management system to improve demand response. Smart Grid, IEEE Transactions on, 4(2), 694-701.
- [27]Zhao, Z., Lee, W. C., Shin, Y., Song, K. B. (2013). An Optimal Power Scheduling Method for Demand Response in Home Energy Management System. Smart Grid, IEEE Transactions on, 4(3), 1391-1400.
- [28]Logenthiran, Thillainathan, Dipti Srinivasan, and Tan Zong Shun. "Demand side management in smart grid using heuristic optimization." Smart Grid, IEEE Transactions on 3.3 (2012): 1244-1252.
- [29]J. A. Anderson and J. Davis, An introduction to neural networks. MIT Press, 1995.
- [30]I. Rish, "An empirical study of the naive bayes classifier," in IJCAI 2001 Workshop on Empirical Methods in Artificial Intelligence, 2001, p. 4146.
- [31]Gungor, V.C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., and Hancke, G.P., (2013). "A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 9(1), 28-42.