



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

## **ΚΤΙΡΙΑΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μπαμίχας Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2021





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

## **ΚΤΙΡΙΑΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ**

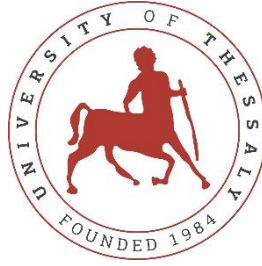
Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μπαμίχας Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2021





**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**BUILDING AUTOMATION FOR SMART GRIDS**

MSc Thesis

Bamichas George

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

Volos 2021



Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**Μπαργιώτας Δημήτριος**

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Τσουκαλάς Ελευθέριος**

Καθηγητής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Πλέσσας Φώτιος**

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ημερομηνία έγκρισης: 09-03-2021





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αφορά το Μεταπτυχιακό στα (ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ), που προσφέρεται από το Τμήμα ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Μπαργιώτα Δημήτριο που με εμπιστεύθηκε και μου έδωσε την δυνατότητα να εκπονήσω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Εκτός από τις σχετικές υποδείξεις που έγιναν για να βγει εις πέρας αυτή η εργασία, πρέπει βέβαια να αναφέρω και στην εξαιρετική στάση που κράτησε όλο αυτό το διάστημα αλλά και την αφοσίωση που δείχνει στους φοιτητές του, δίνοντας τους παράλληλα ευκαιρίες με στόχο να εκπληρώσουν τις φιλοδοξίες τους. Για όλα τα παραπάνω, τον ευχαριστώ πρωτίστως ως άνθρωπο και μετά με την ιδιότητα του ως Καθηγητή.

ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

Μπαμίχας Γεώργιος.



**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

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

Ο Δηλών



ΜΠΑΜΙΧΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ


09/03/2021



## DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The 11 points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'gbb', is displayed on a light blue rectangular background.

BAMICHAS GEORGE

09/03/2021



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στους κτιριακούς αυτοματισμούς για ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα ((Smart Grids, (SG)) και πως ο συνδυασμός τους μπορεί να συμβάλει στον εξορθολογισμό της χρήσης της ενέργειας. Αρχικά, επιδιώκεται η εξοικείωση του αναγνώστη με ενεργειακά ζητήματα και εν συνεχεία ακολουθεί η ανάλυση ειδικότερων ζητημάτων, που αφορούν στα συστήματα ανταπόκρισης στη ζήτηση ((Demand Response, (DR)) αλλά και διαχείρισης της ενέργειας στην πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), στους διαφόρους αλγόριθμους βελτιστοποίησης σε σχέση με την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας κατά τις κρίσιμες περιόδους ζήτησης. Επίκεντρο της προσπάθειας μας είναι η μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), το οποίο λειτουργεί ως μια έξυπνη μονάδα παραγωγής, διανομής και ελέγχου της ηλεκτρικής ενέργειας και ως τέτοια συνεργάζεται με διάφορα συστήματα επικοινωνίας, λαμβάνοντας πάντα υπόψη μία σειρά αμφίπλευρων προϋποθέσεων. Αναπόσπαστο στοιχείο των έξυπνων δικτύων αποτελούν τόσο οι έξυπνοι μετρητές όσο και τα διάφορα συστήματα αυτοματισμών, στα οποία γίνεται ενδελεχής αναφορά. Ταυτόχρονα, σημαντική προς την κατεύθυνση του εξορθολογισμού της χρήσης της ενέργειας είναι και η ανάπτυξη κτιριακών αυτοματισμών, (Building Automation System, (BAS)) δικτύων οικιακής διαχείρισης (HAN), δικτύων οικιακής διαχείρισης της ενέργειας ((Home Energy Management, (HEM))), οικιακού ελεγκτή διαχειριστή της ενέργειας (HEC). Πιο συγκεκριμένα, δίνοντας έμφαση στα δυνατά και αδύναμα σημεία αυτών των συστημάτων και στη συνεργασία τους με το έξυπνο δίκτυο, αναδεικνύεται πως, ενσωματώνοντας και τις ΑΠΕ, πραγματοποιείται η μετάβαση όχι μόνο στα έξυπνα κτίρια αλλά και σε αυτά σχεδόν μηδενικού ενεργειακού αποτυπώματος (ZEBs). Σε αυτή την προσέγγιση, θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθούμε και στη συμβολή των διαφόρων αλγορίθμων όπως είναι ο αλγόριθμος ((Utility-oriented Temporal Association Rules Mining, (UTARM))), ο αλγόριθμος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) και η εφαρμογή του στον έξυπνο μετρητή ((Smart Meter, (SM))), καθώς και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης της κατανάλωσης της ενέργειας των μη διακοπτόμενων προγραμματιζόμενων συσκευών (non-interruptible programmable appliances), με στόχο την ελαχιστοποίηση της κορυφής (peak) της καταναλωμένης ενέργειας.





## ABSTRACT

This dissertation focuses on building automation for ((Smart Grids, (SG)) and how their combination can contribute to the rationalization of energy use. Initially, we pursue the familiarization of the reader with general energy issues and then we concentrate on special ones by adding results through simulations on the part of systems Demand Response, (DR) and energy management on the Demand Site Management, (DSM), but also on the various optimization algorithms in relation to the reduction of energy consumption during the critical periods.

The focal point of our attempt is to present the transition to the smart grid ((SG)), which operates as an intelligent unit for the production, distribution and control of electricity and as such cooperates with various communication systems, always taking into account a number of bilateral conditions. Reference is also made to both smart meters and various automation systems.

At the same time, the development of building automation systems (BAS), home management networks (HAN), home energy management networks (Home Energy Management, (HEM)) is, also, important in the direction of the rationalization of energy use. In particular, by emphasizing the strengths and weaknesses of these systems and their cooperation with the smart grid, it is demonstrated that, by integrating RES, the emergence of smart buildings but zero energy buildings takes place (ZEBs).

In this approach, it would be an omission not to mention the contribution of various algorithms such as the Utility-oriented Temporal Association Rules Mining (UTARM) algorithm, which focuses on the correlation between device usage time and the device time, through the use of data collected from the use of a smart meter, the Energy Management System (EMS) and its application in the Smart Meter (SM), as well as the algorithm for optimizing the energy consumption of non-interruptible programmable appliances, with the aim of minimizing the peak of energy consumption.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	ix
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	5
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ</b> .....	5
2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΠΟΧΗ .....	5
2.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	16
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ (ΑΠΕ) .....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	25
<b>ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ</b> .....	25
3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	25
3.2 ΔΟΜΗ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	28
3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	31
3.4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	33
3.5 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	34
3.6 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	36
3.7 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	37
3.8 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	41
<b>ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ</b> .....	41
4.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ.....	41
4.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ Zigbee .....	44
4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ZigBee...	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	50
<b>ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ</b> .....	50
5.1 ΕΞΥΠΝΑ ΚΑΙ (ZEBs) ΜΗΔΕΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	50
5.2 ΚΤΙΡΙΑΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	52

5.3 ΟΙΚΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (HEM, HAN) .....	55
5.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ (HEM)57	
5.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝΟΥΝ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (HEM).....	58
5.6 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ (KNX) .....	60
5.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ (BAS) ΥΠΟ ΤΗΝ ΣΚΕΨΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	62
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	<b>66</b>
<b>ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ &amp; ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<b>66</b>
6.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ (DR).....	66
6.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ (DR).....	68
6.3 ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΤΗΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ(DR) .....	72
6.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ (DR).....	73
6.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ .....	74
6.6 ΕΝΝΟΙΑ & ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM).....	82
6.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (DSM) ΒΑΣΕΙΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	86
6.8 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ (DR) & (DSM) .....	90
6.9 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ, ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ (DSM).....	93
6.10 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM).....	95
6.11 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (EMS) ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΕΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM) .....	100
6.12 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ DSM ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	104
6.13 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM) .....	109
6.14 ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	110
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b> .....	<b>115</b>

<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>115</b>
7.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ (UTARM) ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ.....	115
7.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (EMS) & ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΕΞΥΠΝΟ ΜΕΤΡΗΤΗ.....	133
7.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΙΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΑ ΣΠΙΤΙΑ. ....	146
7.4 ΠΡΟΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ DSM & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	180
7.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	183
7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΗΚΑΝ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	185
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>	<b>193</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>193</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: .....</b>	<b>198</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια αποτελεί εδώ και χρόνια αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κοινωνική ανάπτυξη, την άνοδο του βιοτικού επιπέδου αλλά και την βιομηχανική ανάπτυξη των χωρών. Η πραγματικότητα αυτή είχε ως αποτέλεσμα ο πλανήτης να έρχεται αντιμέτωπος με σημαντικές προκλήσεις, όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η υπερθέρμανση του πλανήτη και η διατάραξη της ισορροπίας των οικοσυστημάτων. Η σημαντικότερη αιτία αυτών των φαινομένων είναι, χωρίς αμφιβολία, η υπερεκμετάλλευση των ορυκτών πόρων, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, σε σημείο που εγείρονται σοβαρά ζητήματα επάρκειας τους. Ενδεικτικά προς αυτή την κατεύθυνση είναι τα στοιχεία του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας, βάσει των οποίων το 70% της παγκόσμιας ενέργειας παράγεται μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων, με τη χρήση του άνθρακα να αγγίζει το 42% και του φυσικού αερίου το 21%.

Υπό το πρίσμα αυτό, το μεγαλύτερο διακύβευμα είναι πλέον να βρεθεί η χρυσή τομή, ανάμεσα στην προστασία του περιβάλλοντος, την ενεργειακή επάρκεια, την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η πρώτη προσπάθεια προς μία τέτοια βιώσιμη ισορροπία ξεκινά μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, όταν και γίνονται οι πρώτες αναφορές για μετάβαση από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η παραγωγή ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η χρήση βιομάζας.

Στο πλαίσιο αυτής της μεταστροφής σε πιο βιώσιμες ενεργειακά λύσεις, δεν θα μπορούσε κανείς να παραβλέψει και την ανάπτυξη των λεγόμενων έξυπνων δικτύων, ((Smart Grids, (SG)). Ειδικότερα, πρόκειται για τα δίκτυα, τα οποία ενσωματώνοντας την πληροφορική και τις τηλεπικοινωνίες, έχουν ως στόχο την βελτίωση αλλά και τον εκσυγχρονισμό της λειτουργίας τόσο του συστήματος δικτύου διανομής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και του συστήματος αποθήκευσης της.

Η σύζευξη αυτή των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής υλοποιείται στην πράξη μέσω της εφαρμογής και ενσωμάτωσης στα έξυπνα αυτά δίκτυα ευφυών στοιχείων όπως είναι οι έξυπνοι μετρητές, οι αισθητήρες και οι αυτοματισμοί. Επίκεντρο της παρούσας εργασίας είναι η ανάδειξη των ευφυών αυτών στοιχείων και η συμβολή τους στην

μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας, οδηγώντας έτσι σε μια πιο ορθολογική της χρήση. Σκοπός μας, ειδικότερα, είναι να διερευνηθεί πως τόσο το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), όσο και οι εκάστοτε καταναλωτές, είτε πρόκειται για οικιακούς, είτε για εμπορικούς συνεργάζονται με συστήματα όπως:

α) Το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση για ενέργεια ((Demand Response, (DR)), το οποίο έχει ως στόχο να παρακινήσει τον καταναλωτή στο να προβεί σε μειώσεις κατανάλωσης της ενέργειας του κατά την διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων όπως π.χ. είναι οι περίοδοι της αιχμής της ζήτησης ή οι επείγουσες καταστάσεις, οι οποίες απειλούν την αξιοπιστία του δικτύου μέσω των διαφόρων προγραμμάτων που τους παρέχουν,

β) το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), το οποίο στοχεύει στην προώθηση του καταναλωτή προς μια κατεύθυνση πιο ορθολογικής χρήσης της ενέργειας με απώτερο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας όλο το 24ωρο,

γ) το σύστημα τόσο της οικιακής διαχείρισης ((Home Area Network, (HAN)) όσο και της ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)),

δ) το σύστημα του οικιακού ελεγκτή-διαχειριστή της ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC)),

ε) το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) το οποίο μπορεί και υποστηρίζει εφαρμογές διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)) κ.α.

Παράλληλα με τα σημαντικά αυτά στοιχεία, που συνδέονται με τους τομείς της πληροφορίας και των τηλεπικοινωνιών, άξια αναφοράς σε αυτή την κατεύθυνση είναι και τα σημάδια εξέλιξης, που σημειώνονται στον κατασκευαστικό τομέα, μέσα από την ανάπτυξη των λεγόμενων έξυπνων κτιρίων, τα οποία είναι συνάμα πιο ενεργειακά και οικολογικά. Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται όχι μόνο στον τρόπο δόμησης των κτιρίων αλλά και στις αναβαθμισμένες λειτουργίες που τους προσφέρονται μέσω της υιοθέτησης των έξυπνων αυτών συστημάτων και εφαρμογών καθώς και στην δυνατότητα ενσωμάτωσης τους με κομμάτι των ΑΠΕ.

Ιδιαίτερη βαρύτητα στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποδίδεται και στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Πρόκειται για αλγόριθμους, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να μειώσουν την καμπύλη κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικημένων

περιοχών, αποτελώντας ταυτόχρονα τη δυνητική βάση η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί και να επεκταθεί και για άλλους τύπους καταναλωτών. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι: α) ο Utility-oriented Temporal Association Rules Mining, (UTARM), ο οποίος εστιάζει στην συσχέτιση μεταξύ του χρόνου χρήσης της συσκευής αλλά και του είδους της συσκευής, μέσω της χρήσης δεδομένων που συλλέγονται από την χρήση έξυπνου μετρητή, β) ο αλγόριθμος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) & η εφαρμογή του στον έξυπνο μετρητή ((Smart Meter, SM)), και γ) ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης της κατανάλωσης της ενέργειας των μη διακοπτόμενων προγραμματιζόμενων συσκευών (non-interruptible programmable appliances).

Σε συνέχεια του παραπάνω γενικού περιγράμματος, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι οι ειδικότεροι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι:

1. Η ανάδειξη της έννοιας και των εφαρμογών που αφορούν στα συστήματα ανταπόκρισης ((Demand Response, (DR)) και διαχείρισης της ζήτησης για ενέργεια ((Demand Site Management, (DSM)) .
2. Η ανασκόπηση και η διάκριση των διαφόρων τεχνολογιών υπερούγχρονης τεχνολογίας που σχετίζονται με το κομμάτι τόσο του ελέγχου όσο και της δικτύωσης των συστημάτων οικιακής διαχείρισης της ενέργειας Home ((Home Energy Management, (HEM)), καθώς και η περιγραφή των κατευθύνσεων για την προώθηση της μετάβασης προς μια κοινωνία με χαμηλότερη ενεργειακή ζήτηση αλλά και μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).
3. Η εξαγωγή χρονικών μοτίβων, που αναφέρονται στην κατανάλωση της ενέργειας, μέσω της συσχέτισης χρόνου χρήσης της συσκευής και του είδους της συσκευής. Στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης απεικονίζονται τα οφέλη μέσω της εφαρμογής του αλγόριθμου ((Utility-oriented Temporal Association Rules Mining, (UTARM)), ο οποίος εστιάζει τόσο στην χρησιμότητα όσο και στην ανακάλυψη των προτιμήσεων χρήσης των καταναλωτών, σε σχέση με τις διάφορες συσκευές που χειρίζονται κάθε φορά.
4. Η ανάδειξη των αποτελεσμάτων της εφαρμογής τεσσάρων νέων αλγορίθμων οι οποίοι, με στόχο την ελαχιστοποίηση της κορυφής κατανάλωσης της ενέργειας, εκτελούνται σε ένα πλαίσιο έντεκα σύνθετων έξυπνων σπιτιών με πάνω από τριακόσιες συσκευές και οκτώ συστήματά Φ/Β στοιχείων ((Photovoltaic, (PV)) οροφής, τα οποία είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη χρήση έξυπνων μετρητών, οι οποίοι με τη σειρά τους προβαίνουν σε



διαφορετικές αναλύσεις μέσω της συλλογής δεδομένων που σχετίζονται με την κατανάλωση της ενέργειας. Εκτενέστερα, οι τέσσερις αυτοί αλγόριθμοι εκτελούνται παράλληλα και η καλύτερη επιλογή μεταξύ αυτών αποτελεί την βέλτιστη περίπτωση κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ την ίδια στιγμή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων διαμοιράζεται στο πλαίσιο της κοινότητας, προσθέτοντας έτσι με αυτόν τον τρόπο μια περαιτέρω βελτίωση στα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω των αλγορίθμων.

5. Η ανάδειξη του έργου μέσω της πρακτικής εφαρμογή ενός αλγόριθμου διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), ο οποίος υλοποιείται στον έξυπνο μετρητή. Το πρότζεκτ αυτού του συστήματος βασίζεται σε έναν αρχικό αλγόριθμο χρησιμοποιώντας ασαφή λογική (fuzzy logic). Η βάση των κανόνων δημιουργήθηκε σε γλώσσα ((Fuzzy Control Language, (FCL)), ενώ η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ με τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό ((Object-Oriented Programming, (OOP)). Για την αξιολόγηση της απόδοσης, επιλέχθηκε ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), δηλαδή ο λόγος της αιχμής προς τον μέσο όρο της ζήτησης, που στόχο έχει η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας κατά την διάρκεια της μέγιστης ζήτησης.

Μέσα από την ανάπτυξη των ανωτέρω παραμέτρων στην παρούσα εργασία επιχειρείται να αναδειχθεί ο τρόπος επίτευξης της ορθής χρήσης της ενέργειας μειώνοντας την σπατάλη της κατά τις δύσκολες ώρες της αιχμής της ζήτησης. Προς αυτή την κατεύθυνση, επιλέχθηκε, μεθοδολογικά, να αναδειχθούν στην πράξη τα προγράμματα ανταπόκρισης της ζήτησης και διαχείρισης της ενέργειας και η χρήση των αλγορίθμων βελτιστοποίησης της, καθώς και να γίνει μία ιδιαίτερη αναφορά σε μοντέλα βελτιστοποίησης με αναδυόμενες τεχνικές και μεθόδους, αλλά και στα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν κατόπιν αναλύσεων και προσομοιώσεων συγκεκριμένων ερευνών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

#### 2.1 Το ενεργειακό διακύβευμα

Η διαρκής αυξανόμενη εμμονή του ανθρώπου για εξέλιξη, με στόχο τόσο την βελτίωση του βιοτικού του επίπεδου όσο και του γεγονότος της βιομηχανικής ανάπτυξης, έφεραν στο προσκήνιο ένα μεγάλο ζήτημα που αφορούσε τον ενεργειακό τομέα. Το ενεργειακό πρόβλημα στην σύγχρονη εποχή εμφανίζεται να έχει μεγαλώσει σε σχέση με τα προηγούμενα έτη και επιπλέον να αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιου βεληνεκούς, το οποίο επικεντρώνεται στην εξασφάλιση της απαιτούμενης ενεργειακής ποσότητας που χρειάζεται η κάθε χώρα για την κάλυψη των διαφόρων αναγκών της. Αν σκεφτεί κανείς το γεγονός ότι το σύνολο της χρησιμοποιούμενης ενέργειας προέρχονταν κυρίως από ορυκτά καύσιμα υλικά όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α., είχε ως αποτέλεσμα με την πάροδο των χρόνων να έρθουν στην επιφάνεια προβλήματα τα οποία σχετίζονται με παράγοντες όπως π.χ. είναι αυτό της επάρκειας αλλά και της διαθεσιμότητας των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων υλικών, καθώς επίσης και του μεγάλου προβλήματος που προέκυψε με την μόλυνση του περιβάλλοντος, λόγω της αυξημένης ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα που υπήρχε στην ατμόσφαιρα, με τελικό αποδέκτη βέβαια την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή (Καπετανίδης, 2015).

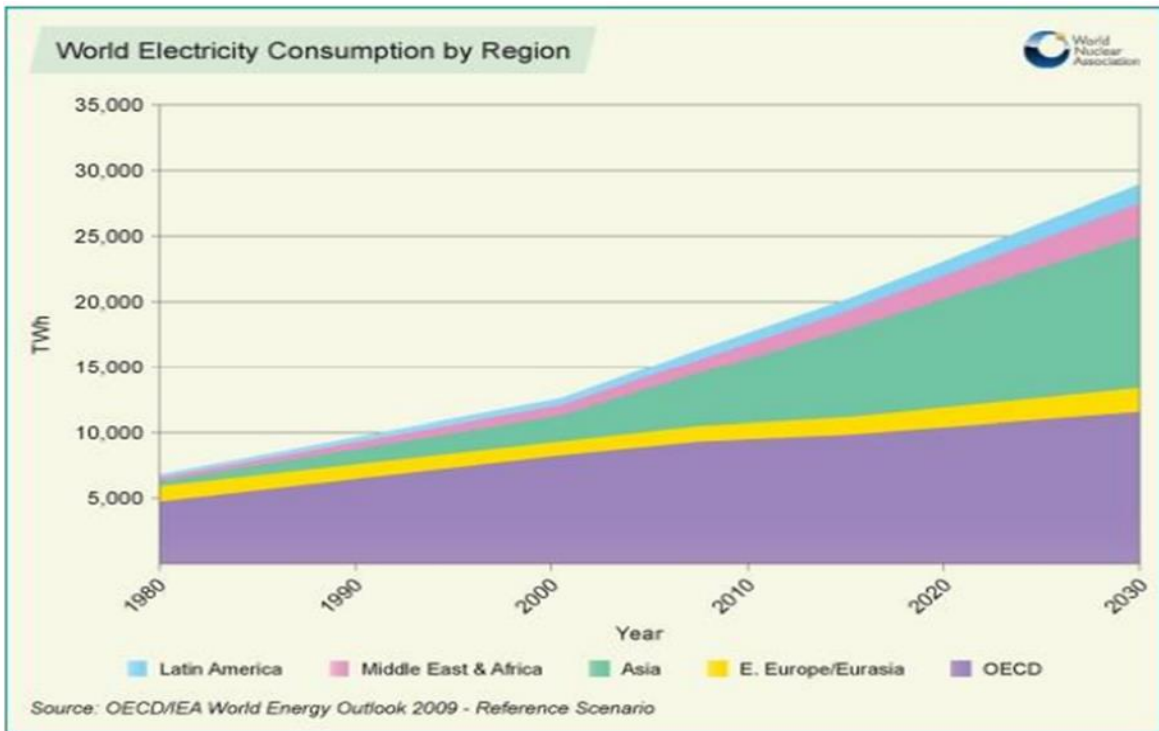
Δεδομένου όλων αυτών των παραπάνω στοιχείων, μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι το ενεργειακό πρόβλημα έφτασε στην κορύφωση του κατά την διάρκεια της ενεργειακής κρίσης του 1973, η οποία ήταν συνέπεια και αποτέλεσμα παραγόντων όπως:

1. Του πλαφόν που ορίστηκε στην άντληση του αργού πετρελαίου, με επιπλέον επακόλουθο και τον περιορισμό της διαθέσιμης ποσότητας του.
2. Του μονομερή καθορισμού των τιμών από τον (ΟΠΕΚ), δηλαδή του Οργανισμού Πετρελαιοπαραγωγών Εξαγωγέων των Κρατών.
3. Της επακόλουθης αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου, με αποτέλεσμα τον τετραπλασιασμό της τιμής του σε σχέση με την αντίστοιχη που επικρατούσε το 2007.
4. Της απόφασης του (ΟΠΕΚ), δηλαδή του Οργανισμού Πετρελαιοπαραγωγών Εξαγωγέων των Κρατών, για εθνικοποιήσεις κοιτασμάτων αργού πετρελαίου.

Επίσης στις πτυχές που συντέλεσαν στην συντήρηση του ενεργειακού προβλήματος, συμπεριλαμβάνονταν παράμετροι όπως ήταν:

1. Η ποσότητα αποθέματος των συμβατικών ενεργειακών πηγών που υπήρχε πριν την οριστική εξάντληση της.
2. Το κλίμα αβεβαιότητας που επικρατούσε τόσο για τα ποσοστά επάρκειας, όσο και για την παράγωγή καθώς και την σταθερότητα στην τροφοδοσία με καύσιμα, με κύριο στόχο την διατήρηση των αποθεμάτων αλλά παράλληλα και την αύξηση των τιμών.
3. Τα πολιτικά και μη γεγονότα, αλλά και οι αστάθμητοι παράγοντες που επηρέαζαν και ανέβαζαν τις τιμές, δηλαδή το ζητούμενο στο ενεργειακό πρόβλημα βρίσκονταν στην σχέση αλληλεξάρτησης που υπήρχε μεταξύ των ενεργειακών αποθεμάτων, τα οποία διαρκώς μειώνονταν και της αντίστοιχης ενεργειακής ζήτησης για την κάλυψη των διαφόρων αναγκών, οι οποίες βέβαια είχαν την τάση να αυξάνονται. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ανισορροπίες μεταξύ τόσο της γεωγραφικής κατανομής των αποθεμάτων όσο και της γεωγραφικής κατανομής κατανάλωσης της ενέργειας μεταξύ της ΑΜΕΡΙΚΗΣ & της ΕΥΡΩΠΗΣ (Καπλάνη, 2013).

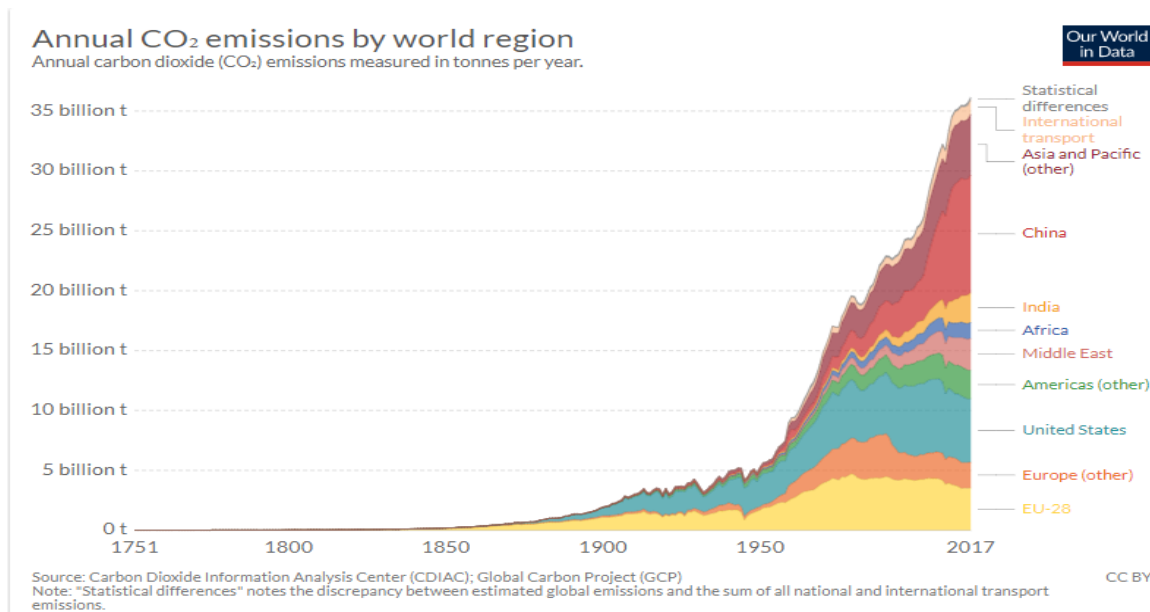
Ο όρος της αύξησης της κατανάλωσης της ενέργειας, πλέον στην εποχή μας είναι πιο ευδιάκριτος άλλα και συνάμα πιο κατανοητός, απλά εάν αναλογιστεί κανείς για παραδείγματα το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών οι οποίες πλαισιώνουν τα εκάστοτε σπίτια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε αντίθεση πάντα με το τι επικρατούσε πριν από περίπου 40 με 50 χρόνια. Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξει κανείς αν μελετήσει τα στοιχεία που προκύπτουν από τις συνθήκες λειτουργίας αλλά και τις ενεργειακές απαιτήσεις μεταξύ ενός σύγχρονου κτιρίου και ενός κτιρίου που είχε κατασκευαστεί πριν από μερικές δεκαετίες όπως π.χ. ενός νοσοκομείου. Στην συνέχεια το Σχήμα 2.1 αποτυπώνει το πλάνο της παγκόσμιας κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χρονικών περιόδων 1980-2030.



Σχήμα 2.1 Προβολή της παγκόσμιας ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας περιόδων 1980-2030 (Saad & Shahid, 2016).

Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από το Σχήμα 2.1 τα πρωτεία στην κατανάλωση ενέργειας κατέχει η Λατινική Αμερική και ακολουθείται από την Μέση Ανατολή και την Αφρική, εν συνεχεία ακολουθεί η Ασία, ενώ στην προτελευταία θέση και τελευταία βρίσκονται η Ευρώπη και τα κράτη μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), όπως είναι η Αυστρία (1961), το Βέλγιο (1961), η Γαλλία (1961), η Γερμανία (1961), η Δανία (1961), η Ελβετία (1961), η Ελλάδα (1961), το Ηνωμένο Βασίλειο (1961), ΗΠΑ (1961), Ιρλανδία (1961), Ισλανδία (1961), Τουρκία (1961) κ.α..(<https://el.wikipedia.org/>).

Στην συνέχεια το Σχήμα 2.2 αναδεικνύει τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) εκφραζόμενες σε ετήσιους τόνους ανά τον κόσμο.

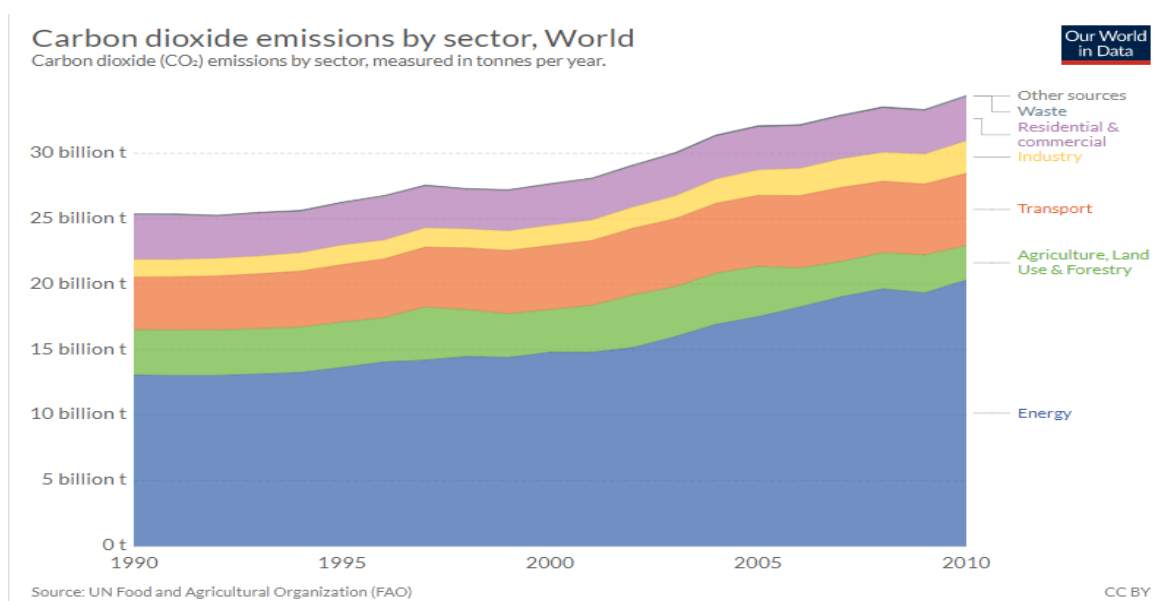


Σχήμα 2.2 Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) εκφραζόμενες σε ετήσιους τόνους στον κόσμο για τις χρονικές περιόδους μεταξύ 1751 - 2017. (Le Quééré et al. 2018)

Από το Σχήμα 2.2 παρατηρείται ότι: α) Για την χρονική διάρκεια μεταξύ των περιόδων 1751 έως 1950 τα επίπεδα των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) για όλες τις χώρες είναι σχεδόν τα ίδια, β) για την χρονική διάρκεια μεταξύ των περιόδων 1900 έως 1950 φαίνεται να υπάρχει μια αυξητική πορεία σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) όπου μέχρι το 1950 τα επίπεδα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανέρχονται στα 2 δισεκατομμύρια τόνους, των υπόλοιπων χωρών που αποτελούν κομμάτι της Ευρώπης το ποσοστό αυτό ανέρχεται στα 2,2 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, τα επίπεδα των χωρών της Αμερικής ανέρχονται στα 5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ανέρχονται στα 5,2 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ τα επίπεδα της Ασίας και της Κίνας ανέρχονται 5,4 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, τέλος γ) για την χρονική διάρκεια μεταξύ των περιόδων 1950 έως 2017 τα επίπεδα των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στο σύνολο αυξάνονται για όλες τις χώρες με μερικές μεταπτώσεις ενδιάμεσα και μέχρι το 2017, αυτό που παρατηρείται είναι κατά την χρονική περίοδο 1990 έχουμε το (peak), δηλαδή την αποκορύφωση όλων των χωρών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όπου οι χώρες που απαρτίζουν την Ευρωπαϊκή Ένωση φτάνουν να έχουν ποσοστό 5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και έως το 2017 το ποσοστό αυτό πέφτει στα 4,8 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, οι χώρες της υπόλοιπης

Ευρώπης φτάνουν να έχουν ποσοστό 7,5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και έως το 2017 το ποσοστό αυτό να πέφτει στα 5,2 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής φτάνουν να έχουν ποσοστό 13,5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και έως το 2017 το ποσοστό αυτό να πέφτει στα 11 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, το επίπεδο των άλλων χωρών της Αμερικής ανέρχεται στα 15 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και έως το 2017 το ποσοστό αυτό να πέφτει στα 14,8 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, για τις χώρες της Μέσης Ανατολής αυτό το ποσοστό ανέρχεται στα 15,2 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως ενώ το 2017 το ποσοστό αυτό να πέφτει στα 15,4 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, η Ινδία και η Αφρική ακολουθούν μια παρόμοια μετάβαση όπου η πρώτη το 2017 εμφανίζει μια αύξηση του ποσοστού που ανέρχεται περίπου στα 20 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως ενώ αντίθετα η δεύτερη εμφανίζει το 2017 μια μείωση και το ποσοστό ανέρχεται στα 18 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ τέλος οι δύο χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι η Κίνα η οποία αγγίζει το 2017 τα 29 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και η Ασία όπου η οποία αγγίζει το 2017 τα 35 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.

Στην συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 2.3 το οποίο αναδεικνύει τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά τομέα εκφραζόμενες σε ετήσιους τόνους σε παγκόσμιο επίπεδο.



Σχήμα 2.3 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά τομέα εκφραζόμενοι σε ετήσιους τόνους στον κόσμο για τις χρονικές περιόδους μεταξύ 1990 – 2010. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2017).

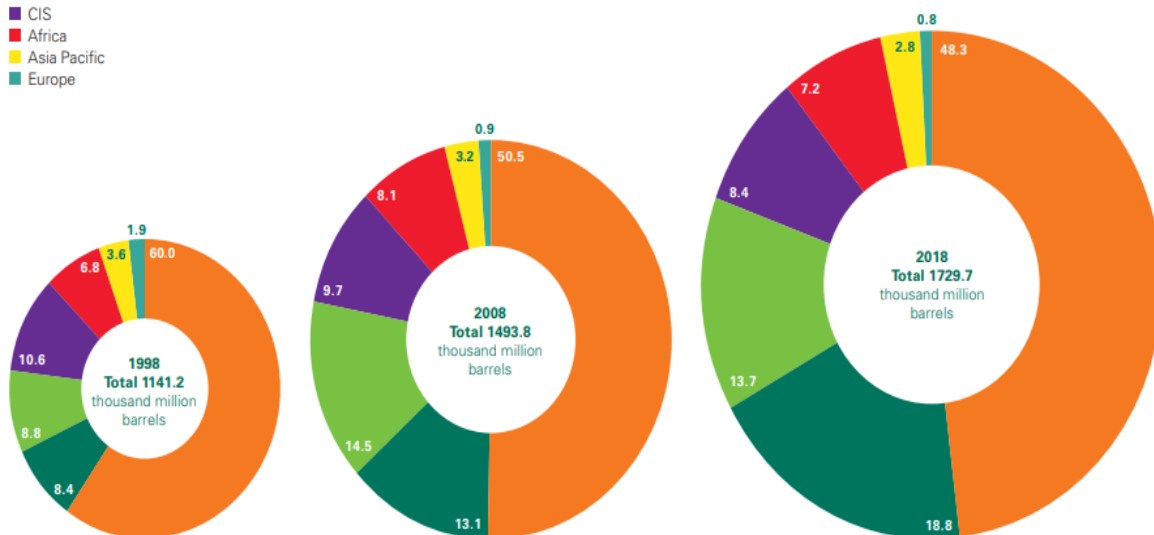
Βάσει των στοιχείων που αναδεικνύονται από το Σχήμα 2.3, είναι εμφανές ότι ο πρώτος τομέας που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά τομέα στον κόσμο είναι ο συνδυασμός του εμπορικού και του οικιακού τομέα με ποσοστό που αγγίζει το έτος 2010 περίπου τα 40 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, δεύτερος ανέρχεται ο βιομηχανικός τομέας με ποσοστό που αγγίζει το 2010 περίπου τα 34 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, τρίτος ανέρχεται ο τομέας των μεταφορών με ποσοστό που αγγίζει το 2010 περίπου τα 28 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, τέταρτος ανέρχεται ο αγροτικός τομέας με ποσοστό που αγγίζει το 2010 περίπου τα 21 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ πέμπτος και τελευταίος ανέρχεται ο τομέας της ενέργειας με ποσοστό που αγγίζει το 2010 περίπου τα 18 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.

Επίσης το Σχήμα 2.4 αναδεικνύει τα ετήσια αποθέματα πετρελαίου ανά τον κόσμο για τα έτη 1998, 2008, 2018.

**Distribution of proved reserves in 1998, 2008 and 2018**

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- CIS
- Africa
- Asia Pacific
- Europe



BP Statistical Review of World Energy 2019

Σχήμα 2.4 Αποθέματα πετρελαίου ανά τον κόσμο για τα έτη 1998, 2008, 2018. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

Βάσει των στοιχείων που παρατίθενται από το Σχήμα 2.4 γίνεται κατανοητό ότι για την χρονική περίοδο 1998 από την συνολική ποσότητα αποθέματος πετρελαίου η οποία ανέρχεται στο ποσό των 1141,2 εκατομμυρίων βαρελιών η χώρα που έρχεται πρώτη και διαθέτει τα περισσότερα αποθέματα πετρελαίου είναι η Μέση Ανατολή με ποσοστό 60%, δεύτερη ανέρχεται η Πρώην Σοβιετική Ένωση ((Commonwealth of Independent States (CIS)) με ποσοστό 10,6%, τρίτη ανέρχεται η Βόρεια Αμερική με ποσοστό 8,8%, τέταρτη ανέρχεται η Νότια και κεντρική Αμερική με ποσοστό 8,4%, πέμπτη ανέρχεται η Αφρική με ποσοστό 6,8%, έκτη ανέρχεται η Ασία με ποσοστό 3,6% και έβδομη και τελευταία ανέρχεται η Ευρώπη με ποσοστό 1,9%.

Για την χρονική περίοδο 2008 από την συνολική ποσότητα αποθέματος πετρελαίου η οποία ανέρχεται στο ποσό των 1493,8 εκατομμυρίων βαρελιών η χώρα που έρχεται πρώτη σε διάθεση αποθεμάτων πετρελαίου είναι η Μέση Ανατολή με ποσοστό 50,5%, δεύτερη ανέρχεται η Βόρεια Αμερική με ποσοστό 14,5%, τρίτη ανέρχεται η Νότια και κεντρική Αμερική με ποσοστό 13,1%, τέταρτη ανέρχεται η Πρώην Σοβιετική Ένωση ((Commonwealth of Independent States (CIS)) με ποσοστό 9,7%, πέμπτη ανέρχεται η Αφρική με ποσοστό 8,1%, έκτη ανέρχεται η Ασία με ποσοστό 3,2% και έβδομη και τελευταία ανέρχεται η Ευρώπη με ποσοστό 0,9%.

Τέλος για την χρονική περίοδο 2018 από την συνολική ποσότητα αποθέματος πετρελαίου η οποία ανέρχεται στο ποσό των 1729,7 εκατομμυρίων βαρελιών η χώρα που έρχεται πρώτη σε διάθεση αποθεμάτων πετρελαίου είναι η Μέση Ανατολή με ποσοστό 48,3%, δεύτερη ανέρχεται η Νότια και κεντρική Αμερική με ποσοστό 18,8%, τρίτη ανέρχεται η Βόρεια Αμερική με ποσοστό 13,7%, τέταρτη ανέρχεται η Πρώην Σοβιετική Ένωση ((Commonwealth of Independent States (CIS)) με ποσοστό 8,4%, πέμπτη ανέρχεται η Αφρική με ποσοστό 7,2%, έκτη ανέρχεται η Ασία με ποσοστό 2,8% και έβδομη και τελευταία ανέρχεται η Ευρώπη με ποσοστό 0,8%. Επιπλέον το Σχήμα 2.5 αναδεικνύει την ετήσια κατανάλωση βάσει χρήσης καυσίμου στον κόσμο για το έτος 2018.



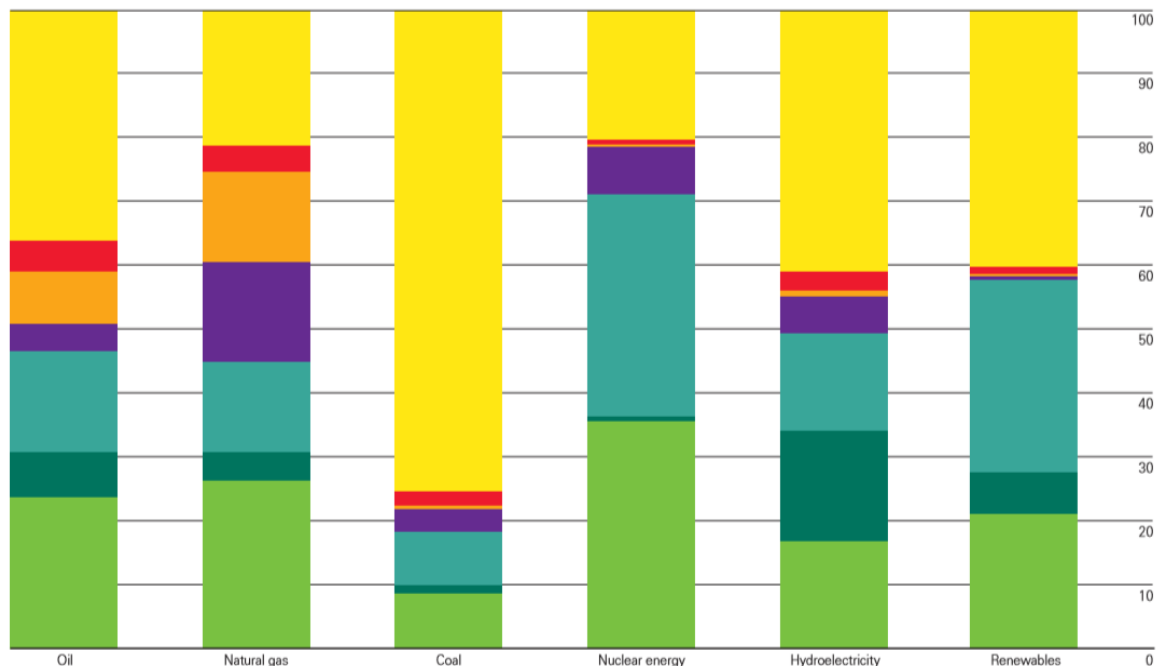
### Fuel consumption by region 2018

Percentage

Asia Pacific  
Africa  
Middle East

Europe  
CIS  
S. & Cent. America

North America



Σχήμα 2.5 Ετήσια παγκόσμια κατανάλωση βάσει χρήσης του καυσίμου έτους 2018.

Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

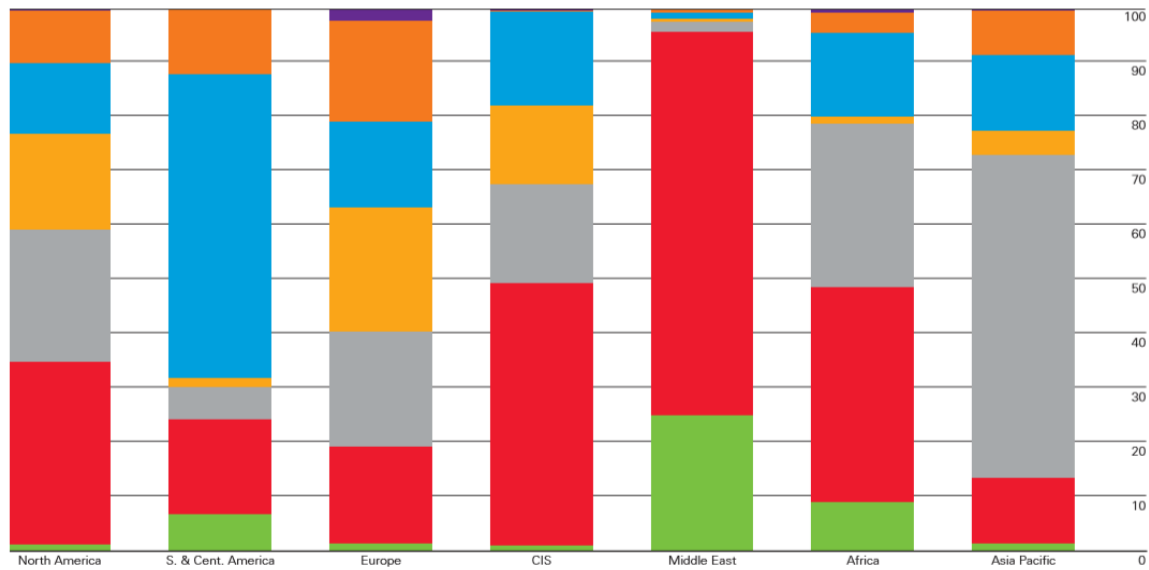
Από το Σχήμα 2.5 προκύπτουν ότι το πετρέλαιο καταναλώνεται κυρίως στην Ασία και την Βόρεια Αμερική, όπου μαζί αυτές οι δύο χώρες αντιπροσωπεύουν περίπου το 60% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Η παγκόσμια κατανάλωση άνθρακα επικεντρώνεται σε μεγάλο βαθμό στην Ασία, ενώ πάνω από τα δύο τρίτα της πυρηνικής κατανάλωσης συγκεντρώνεται στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Η Ασία, η Νότια αλλά και η Κεντρική Αμερική αντιπροσωπεύουν περίπου το 60% της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Περισσότερο από το 90% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καταναλώνονται στην Ασία, την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική.

Επιπλέον στο Σχήμα 2.6 αναδεικνύεται η ετήσια ανά τον κόσμο περιοχή που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βάσει χρήσης καυσίμου για το έτος 2018.

### Regional electricity generation by fuel 2018

Percentage

Oil  
Natural gas  
Coal  
Nuclear  
Hydroelectricity  
Renewables  
Other (includes sources not specified elsewhere e.g. pumped hydro, non-renewable waste and statistical differences)

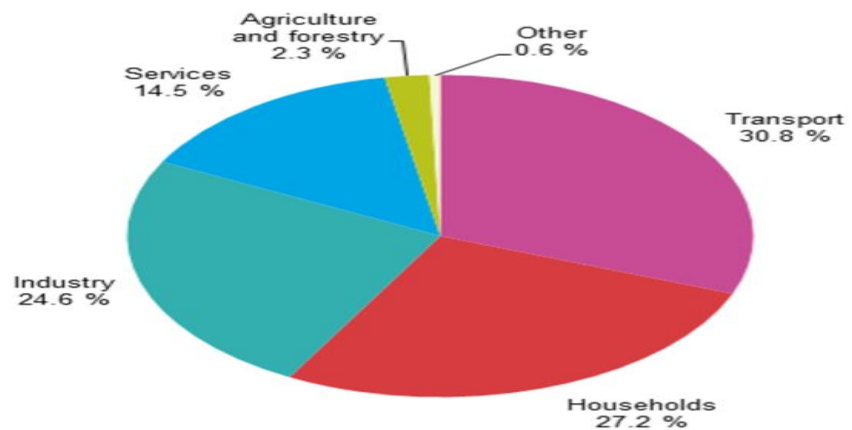


Σχήμα 2.6 Ετήσια παγκόσμια παραγωγή ενέργειας βάσει χρήσης του καυσίμου για το έτος 2018. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

Από το Σχήμα 2.6 προκύπτουν ότι το φυσικό αέριο είναι το κυρίαρχο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας στην Βόρεια Αμερική, με δεύτερο να ακολουθεί ο άνθρακας. Στην Νότια και Κεντρική Αμερική, η παραγωγή ενέργειας από την χρήση υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ της παραγόμενης ενέργειας. Στην Ευρώπη, η πυρηνική ενέργεια, ο άνθρακας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το φυσικό αέριο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Στις χώρες που απαρτίζουν την Πρώην Σοβιετική Ένωση ((Commonwealth of Independent States (CIS)) αλλά και την Μέση Ανατολή, το φυσικό αέριο είναι μακράν το πιο σημαντικό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Αφρική, το φυσικό αέριο μαζί με τον άνθρακα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 70% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο άνθρακας παραμένει το πιο σημαντικό καύσιμο στην Ασία.

Τέλος το Σχήμα 2.7 αναδεικνύει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκφραζόμενη σε % ποσοστό της συνολικής ποσότητας κατανάλωσης ενέργειας η οποία αντιστοιχεί σε ένα ισοδύναμο αριθμό τόνων χρήσης πετρελαίου για το έτος 2017. Σημειώνεται πως βάσει των στοιχείων που δίνονται κατόπιν σχετικής έρευνας η συνολική ποσότητα κατανάλωσης ανέρχονταν σε 327 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου.

**Final energy consumption by sector, EU-28, 2017**  
(% of total, based on tonnes of oil equivalent)



Source: Eurostat (online data code: nrg\_bal\_s)

Σχήμα 2.7 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα, των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έτους 2017. Source: (Eurostat).

Από το Σχήμα 2.7 προκύπτει, ότι στην πρώτη θέση η οποία αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη κατανάλωση της ενέργειας, ανέρχεται ο τομέας των μεταφορών με ποσοστό 30,8% και αντιστοιχεί σε 100,716 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου, στην δεύτερη θέση ανέρχεται ο τομέας των νοικοκυριών με ποσοστό 27,2% και αντιστοιχεί σε 88,944 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου, στην τρίτη θέση ανέρχεται ο τομέας της βιομηχανίας με ποσοστό 24,6% και αντιστοιχεί σε 80,442 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου, στην τέταρτη θέση ανέρχεται ο τομέας των υπηρεσιών με ποσοστό 14,5% και αντιστοιχεί σε 47,415 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου, στην πέμπτη θέση ανέρχεται ο αγροτικός τομέας με ποσοστό 2,3% και αντιστοιχεί σε 7,521 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου ενώ στην τελευταία θέση ανέρχεται η κατηγορία των λοιπών τομέων με ποσοστό 0,6% και αντιστοιχεί σε 1,962 εκατομμύρια ισοδύναμης ποσότητας τόνων πετρελαίου.

Έτσι βασικός στόχος μετά την ανάδειξη όλων αυτών των παραπάνω στοιχείων, είναι να υπάρξει αλλαγή πλεύσης στο θέμα της ενεργειακής πολιτικής των χωρών με γνώμονα πάντα την σωστή διαχείριση της παραγωγής, της εκμετάλλευσης αλλά και της χρήσης της ενέργειας, όπου αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη σωστού σχεδιασμού στην χρήση των τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν με καταλυτικό σημείο αναφοράς την

ευαισθητοποίηση προς το περιβάλλον και τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή. Για αυτούς τους λόγους γίνεται αναφορά για χρήση μιας πιο ήπιας και καθαρής ενέργειας, η οποία σαφέστερα θα είναι πιο φιλική έναντι του περιβάλλοντος, ακολουθώντας παράλληλα μια σειρά κανόνων για την ορθή χρήση της κατάλληλης τεχνολογίας, για την κάλυψη των διαφόρων απαιτήσεων των χωρών, με οδηγό σαφώς την μη άσκοπη σπατάλη της ενέργειας. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραγωγή ενέργειας μέσω χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες αποτελούν φυσικές και ανεξάντλητες πηγές ενέργειας όπως π.χ. είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η ενέργεια από βιομάζα κ.α. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο Κεφάλαιο 2.2. Για την επίτευξη όλων των παραπάνω στόχων, σημαντικό είναι το κάθε κράτος να εργαστεί σε τομείς όπως είναι:

1. Ο σχεδιασμός αλλά και υλοποίηση κινήσεων λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
2. Χάραξη ενεργειακής πολιτικής για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
3. Η προώθηση τεχνολογιών με στόχο πρώτον την μείωση του συνολικού ποσοστού χρήσης της ενέργειας αλλά και γενικά προώθηση μιας πιο ορθολογικής χρήσης της ενέργειας.
4. Η προώθηση νέων καινοτόμων τεχνολογιών όπως π.χ. είναι η χρήση των αυτοματισμών (Καπλάνη, 2013).

Επίσης καθοριστικό ρόλο βέβαια από την άλλη πλευρά θα διαδραματίσει και η συμπεριφορά του κάθε ανθρώπου ξεχωριστά σε σχέση με τον τρόπο χρήσης της ενέργειας, όπου θα πρέπει να ακολουθείται από ορθή κατανόηση αλλά και να διακατέχεται του ανάλογου σεβασμού. Με απλά λόγια, θα πρέπει μέχρι και ο πιο απλός πολίτης να συμβάλλει και αυτός με την σειρά του στην προσπάθεια που γίνεται ανά τον κόσμο για αυτήν την αλλαγή κατεύθυνσης σε σχέση πάντα με την ενεργειακή πολιτική, παραπέμποντας σε μια σειρά από μειώσεις των προτιμήσεων της προσωπικής χρήσης της ενέργειας του, είτε αλλάζοντας κάποιες από τις συνήθειες του, είτε ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις της εποχής π.χ. χρήση καινοτόμων τεχνολογιών όπως π.χ. είναι η χρήση των αυτοματισμών, η χρήση διαφόρων συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης των κτιρίων όπως π.χ. είναι τα συστήματα ((Building Automation System, (BAS)), ((Building Energy Management system (BEMS))), το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση

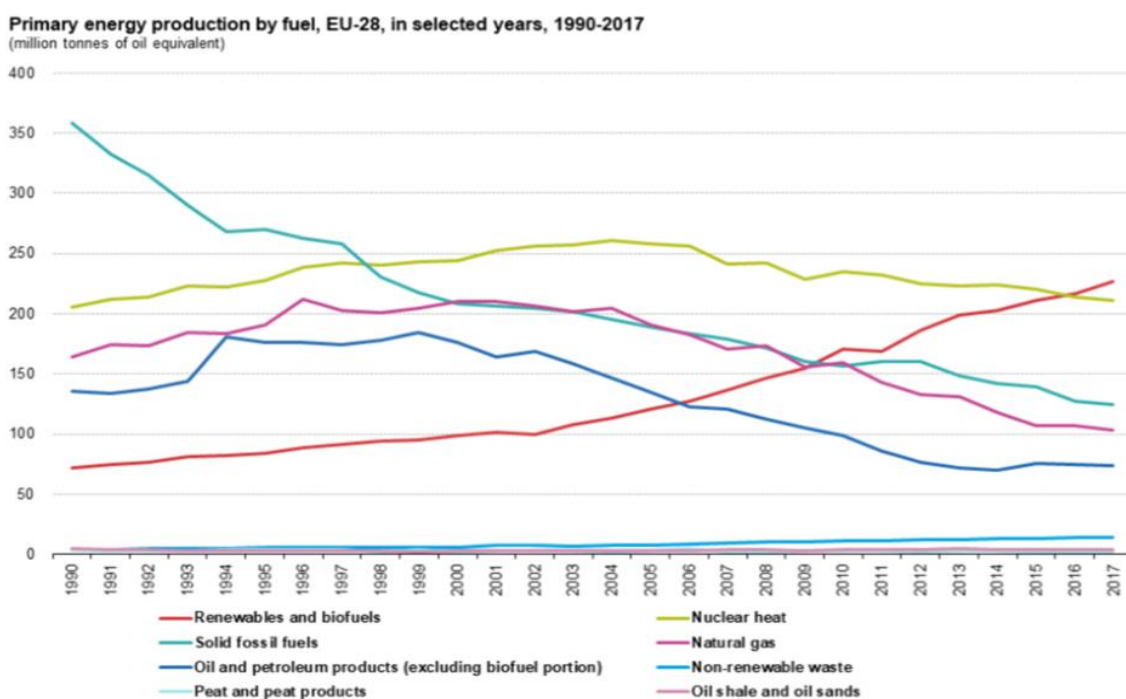
((Demand Response, (DR)) αλλά και το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)) για τα οποία γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα παρακάτω Κεφάλαια.

## **2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Η εκδήλωση ενδιαφέροντος για την χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ((Renewable Energy Sources, (RES)), ενεργοποιήθηκε κατά την δεκαετία του 1970, όπου και ήταν κυρίως αποτέλεσμα λόγω των συνεχόμενων πετρελαϊκών κρίσεων εκείνης της περιόδου αλλά και της εμφανής αλλοίωσης της κατάστασης του περιβάλλοντος, λόγω χρήσης των κλασικών πηγών ενέργειας. Οι (ΑΠΕ), συγκαταλέγονται στον τομέα της λεγόμενης πράσινης ανάπτυξης και χαρακτηρίζονται ως μια πιο ήπια μορφή ενέργειας λόγω του γεγονότος ότι η ύπαρξη τους βρίσκεται σε αφθονία αλλά και ότι η παραγωγή ενέργειας τους προέρχεται από την εκμετάλλευση ενέργειας η οποία οφείλεται σε διάφορα φυσικά στοιχεία, όπως π.χ. είναι ο άνεμος, ο ήλιος, το νερό κ.α. Έτσι προκύπτει ότι από στις παραπάνω περιπτώσεις απαλείφεται δηλαδή το στοιχείο της όποιας παρέμβασης που μεσολαβεί για την εκμετάλλευση τους, όπως αντίθετα συμβαίνει με τις συμβατικές πηγές ενέργειας όπως π.χ. αποτελούν το πετρέλαιο και ο άνθρακας, όπου για την εκμετάλλευση τους μεσολαβούν στάδια όπως αυτό της εξόρυξης, της άντλησης ή της καύσης. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι το ποσοστό παραγωγής ενέργειας μέσω της εφαρμογής τους ποικίλει ανάλογα πάντα με τις γεωγραφικές κατανομές αλλά και τις κλιματικές συνθήκες των περιοχών. (<https://el.wikipedia.org/>).

Στην αρχή οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), ξεκίνησαν σε πειραματικό στάδιο βέβαια στην εποχή μας αυτό έχει αλλάξει και γίνονται σημαντικά βήματα για την εξέλιξη και την διάδοση τους και έχει σαν αποτέλεσμα να συμπεριλαμβάνονται σήμερα στα ενεργειακά αναπτυξιακά σχέδια πολλών εκ των αναπτυγμένων κρατών σε όλον τον κόσμο. Η μείωση που έχει επέλθει και αφορά το κόστος εγκατάστασης είτε των αιολικών, είτε των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων, έχει φτάσει πλέον στο σημείο να ανταγωνίζονται κάποιες από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως π.χ. είναι η περίπτωση του άνθρακα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το έτος 2010 στις Η.Π.Α. περίπου το 6% της παραγόμενης ενέργειας προέρχονταν από χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), ενώ αντίστοιχα για την Ευρωπαϊκή Ένωση για την ίδια χρονική περίοδο,

το ποσοστό αυτό άγγιζε περίπου το 25%, το οποίο προέρχονταν κυρίως από την χρήση των υδροηλεκτρικών μονάδων και της βιομάζας. Περιοχές στις οποίες η χρήση των (ΑΠΕ) συμβάλλουν με ποσοστό περισσότερο από το 20% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν χώρες όπως είναι: Η Γερμανία, η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Πορτογαλία, η Δανία, η Φινλανδία, η Ιρλανδία και η Νέα Ζηλανδία. Στο Σχήμα 2.2.1 αναδεικνύονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας βάσει χρήσης καυσίμου των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα αντίστοιχα έτη μεταξύ 1990 έως 2017, εκφραζόμενες σε (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου).



Source: Eurostat (online data code: nrg\_bal\_c)

Σχήμα 2.2.1 Ετήσια Ευρωπαϊκή παραγωγή ενέργειας βάσει χρήσης καύσιμου για τα έτη 1990-2017 εκφραζόμενη σε (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου). Source: (Eurostat).

Από το Σχήμα 2.2.1 προκύπτουν ότι κατά την δεκαετία μεταξύ 2007 έως 2017, η τάση για παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας ήταν γενικά αρνητική σε σχέση με την χρήση των στερεών ορυκτών καυσίμων όπως π.χ. το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια. Η παραγωγή μέσω χρήσης τόσο του φυσικού αερίου όσο και του πετρελαίου αντιπροσώπευε τις μεγαλύτερες μειώσεις όπου το ποσοστό άγγιζε περίπου 39,4% και

39,1% αντίστοιχα, ενώ η παραγωγή μέσω χρήσης άλλων στερεών ορυκτών καυσίμων μειώθηκε κατά περίπου 30,5%. Από την άλλη πλευρά βέβαια παρατηρήθηκε θετική τάση σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας προερχόμενη από την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά την ίδια περίοδο, με εξαίρεση βέβαια μόνο το έτος (2011) και εν συνεχεία η οποία έφτασε μάλιστα σε ποσοστό αύξησης που άγγιζε περίπου 65,6%. (Eurostat Energy, transport and environment statistics, 2019).

### 2.3 Κατηγοριοποίηση των (ΑΠΕ)

Ανάλογα με τον τρόπο διεξαγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, οι λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατηγοριοποιούνται ως εξής:

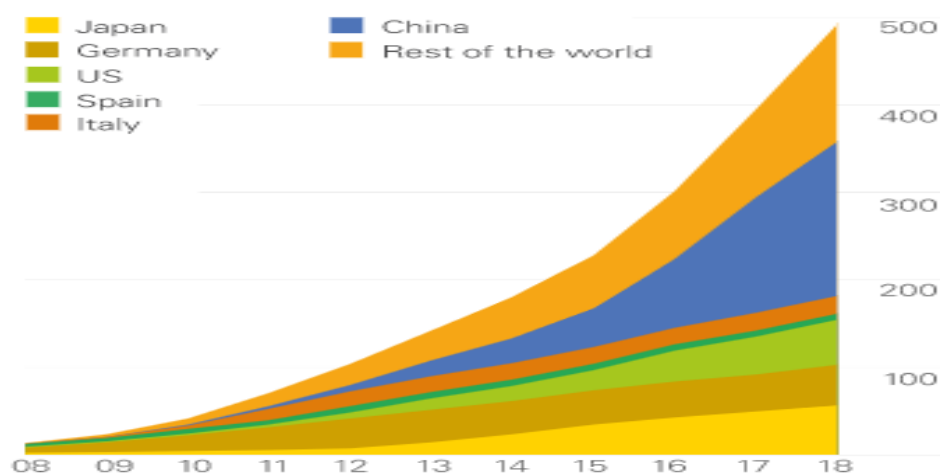
1. Ηλιακή ενέργεια
2. Αιολική ενέργεια
3. Υδροηλεκτρική ενέργεια
4. Ενέργεια από βιομάζα

1) Η περίπτωση της ηλιακής ενέργειας αφορά μορφές ενέργειας οι οποίες προέρχονται από τον ήλιο, όπως π.χ. είναι η ενέργεια μέσω του φωτός, η θερμική ενέργεια καθώς και η ενέργεια που προέρχεται μέσω ηλιακής ακτινοβολίας. Στην περίπτωση του φωτός, αναφερόμαστε σε παθητικά ηλιακά συστήματα όπως π.χ. είναι τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των σπιτιών. Στην περίπτωση της θερμικής ενέργειας αναφερόμαστε πρώτον σε ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία έχουν την τάση να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια όπως π.χ. είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες και τέλος στην περίπτωση της παραγωγής ενέργειας μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, αναφερόμαστε σε φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα και συστοιχίες, όπου επιτυγχάνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και εν συνεχεία μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.

Σημειώνεται ότι για το έτος 2018 δημιουργήθηκαν νέες εγκαταστάσεις οι οποίες άγγιζαν τα 96 GW, οι οποίες μπορούσαν να δώσουν συνολική ισχύ ενέργειας προερχόμενη από την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ η οποία έφτανε σχεδόν 500 GW μέχρι το τέλος του έτους. Οι μεγαλύτερες προσαυξήσεις για το έτος 2018 καταγράφηκαν στην Κίνα με (44 GW), η οποία μάλιστα αντιπροσωπεύει σχεδόν το 50% της συνολικής αύξησης της παγκόσμιας ηλιακής δυναμικότητας. Οι ΗΠΑ, η ΕΕ και η Ινδία επενδύουν περίπου 8 GW αντίστοιχα η κάθε μια. Το Σχήμα 3.2.1 αναδεικνύει την ηλιακή

φωτοβολταϊκή ισχύ που παράγεται για την χρονική περίοδο 2008 έως 2018 εκφραζόμενη σε GW ανά τον κόσμο.

### Solar PV generation capacity (gigawatts, cumulative installed capacity)



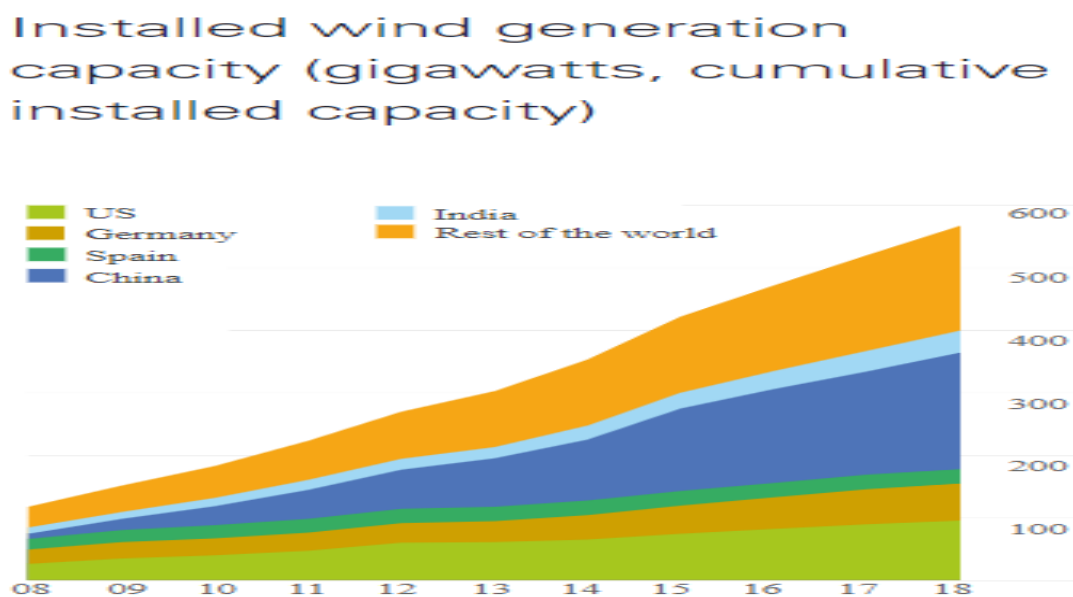
Σχήμα 2.3.1 Ηλιακή φωτοβολταϊκή ισχύ σε GW (σωρευμένη εγκατεστημένη χωρητικότητα) ανά τον κόσμο. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

2) Η περίπτωση της αιολικής ενέργειας, αναφέρεται σε ενέργεια η οποία παράγεται από την ταχύτητα του ανέμου. Η χρησιμότητα της έχει παρατηρηθεί από αρχαιοτάτων χρόνων σε περιπτώσεις π.χ. ως σύστημα υποβοήθησης κίνησης στα ιστιοφόρα, είτε για την περιστροφή των ανεμόμυλων και τέλος βέβαια πλέον στην εποχή μας η ευρέως γνωστή εφαρμογή της από τις λεγόμενες ανεμογεννήτριες, όπου σε αυτήν την περίπτωση μέσω της κατασκευής μεγάλων αιολικών πάρκων μπορεί και γίνεται μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε μηχανική και αυτήν εν συνεχεία δια μέσου μιας γεννήτριας να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια παρέχει περίπου το 4,8% της παγκόσμιας ισχύος. Η Κίνα κατέχει την πρώτη θέση παγκοσμίως σε ότι αφορά την εγκατεστημένη ισχύ μέσω της χρήσης ανεμογεννητριών της τάξεως των (185 GW), επίσης το 2017 η Κίνα κατέγραψε την μεγαλύτερη προσθήκη νέας εγκατεστημένης ισχύς από την χρήση ανεμογεννητριών της τάξεως των (20GW), ακολουθούμενη από την



Ευρωπαϊκή Ένωση με εγκατεστημένη ισχύ μέσω χρήσης ανεμογεννητριών της τάξεως των (10GW), καθώς και των ΗΠΑ με εγκατεστημένη ισχύ προερχόμενη από την χρήση ανεμογεννητριών της τάξεως των (7 GW) (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).

Ο άνεμος έχει συμβάλει σημαντικά στην ευρωπαϊκή παραγωγή ενέργειας. Στην Δανία, η χρήση της αιολικής ενέργειας παρείχε περισσότερο από το 46% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2018, επίσης η αιολική ενέργεια παρέχει τώρα με ποσοστό περίπου 15% ή και μεγαλύτερο της παραγόμενης ενέργειας στην Ιρλανδία, την Λιθουανία, την Γερμανία, την Πορτογαλία, την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ αντίθετα έχει πολύ μικρότερο μερίδιο στην παραγωγή ενέργειας για τις ΗΠΑ, το οποίο ανέρχεται σε ποσοστό μόλις 6% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το Σχήμα 2.3.2 αναδεικνύει την εγκατεστημένη παραγωγή αιολικής ενέργειας ανά τον κόσμο εκφραζόμενη σε GW, (σωρευμένη εγκατεστημένη χωρητικότητα), για την περίοδο 2008 έως 2018. (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).



Σχήμα 2.3.2 Εγκατεστημένη παραγωγή αιολικής ενέργειας ανά τον κόσμο εκφραζόμενη σε GW ανά έτος μεταξύ χρονικής περιόδου 2008 έως 2018. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

Από το Σχήμα 3.2.2 παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης παραγωγής από την χρήση της αιολικής ενέργειας την έχει η κατηγορία που αναφέρεται

στις λοιπές χώρες του κόσμου, με ποσοστό το οποίο το έτος 2018 ανέρχεται περίπου στα 580 GW, ενώ στην συνέχεια ακολουθεί η Ινδία με ποσοστό όπου το 2018 ανέρχεται περίπου στα 400 GW, εν συνεχεία ακολουθεί η Κίνα με ποσοστό όπου το 2018 ανέρχεται περίπου στα 380 GW, εδώ σημειώνεται ότι οι τρεις πρώτες κατηγορίες που αναφέρθηκαν από το 2008 και μετά είχαν συνεχή αυξητική πορεία, μετά ακολουθεί η Ισπανία με ποσοστό όπου το 2018 ανέρχεται περίπου στα 185 GW, στην συνέχεια ακολουθεί η Γερμανία με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 170 GW και τέλος οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 100 GW εδώ σημειώνεται εξίσου ότι οι τρεις τελευταίες κατηγορίες που αναφέρονται στην Ισπανία, Γερμανία και Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής σημείωσαν μια τμηματική σταδιακή μικρή αύξηση από το 2008 μέχρι το 2012, από το 2012 και μέχρι 2014 υπήρχε μια σχετική σταθεροποίηση του ποσοστού και τέλος από το 2014 μέχρι το 2018 υπήρξε συνεχή αύξηση αυτού του ποσοστού.

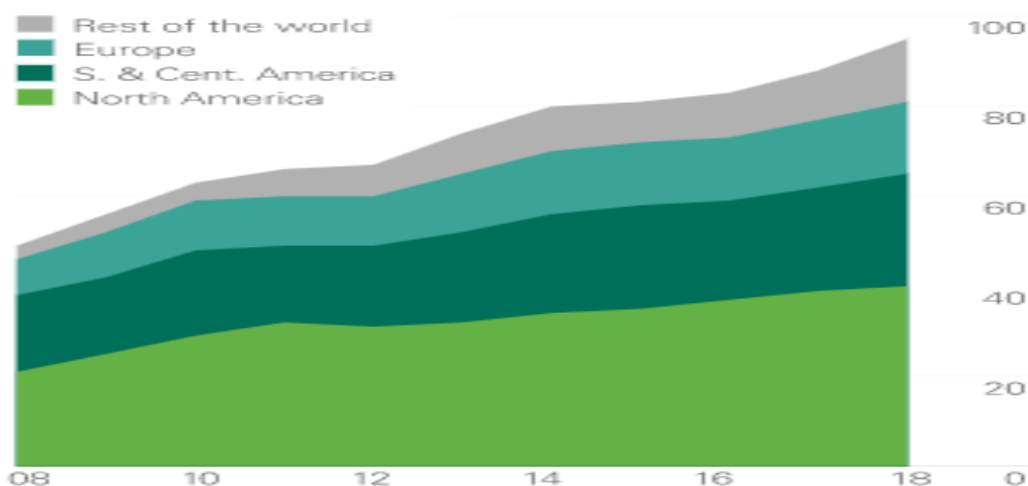
3) Η περίπτωση της υδροηλεκτρικής ενέργειας η οποία αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αφορά εγκαταστάσεις όπως είναι τα φράγματα, τα οποία χρησιμοποιούν έναν ταμιευτήρα όπου ανάλογα με την ποσότητα νερού που απελευθερώνεται από τον αγωγό πτώσεως επιτυγχάνονται και τα ανάλογα αποτελέσματα. Στο ύψος του αναδευτήρα επισημαίνεται ότι υπάρχει κινητική ενέργεια, η οποία οδηγείται σε έναν στρόβιλο, όπου μετατρέπεται εν συνεχεία σε μηχανική ενέργεια, λόγω του ότι θέτει με την σειρά του σε λειτουργία μια γεννήτρια η οποία στο τέλος μεσολαβεί για την μετατροπή αυτής της ενέργειας σε ηλεκτρική.

4) Η ενέργεια από βιομάζα περιλαμβάνει την παραγωγή ενέργειας μέσω χρήσης οποιοδήποτε καύσιμου υλικού το οποίο προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς που βρίσκονται σε υλικά όπως είναι τα βιομηχανικά απόβλητα τα οποία προέρχονται από το ξύλο, τις διάφορες τροφές, υπολείμματα καλλιεργειών, απορρίμματα κτηνοτροφίας κ.α. Στόχος αποτελεί να γίνει αποδέσμευση της ενέργειας που βρίσκεται στα οργανικά αυτά υλικά, λόγω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Γνωστά προϊόντα βιομάζας αποτελούν το pellet και η βιοαιθανόλη.

Η αύξηση της παραγωγής των βιοκαυσίμων έφτασε κατά μέσο όρο το 9,7% για το έτος 2018. Στην Βραζιλία αυτό το ποσοστό ανέρχεται περίπου στα 3,1 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου ενώ στην Ινδονησία ανέρχεται περίπου στα 2,2 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, επίσης από κοινού αντιπροσωπεύουν σχεδόν τα δύο

τρίτα της παγκόσμιας ανάπτυξης, με ποσοστό που αντιστοιχεί περίπου στα 8,5 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Με την χρήση καυσίμων η παραγωγή αιθανόλης για το έτος 2018 ανήλθε περίπου στα 60,4 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, ενώ αντίστοιχα η Βόρεια Αμερική αντιπροσωπεύει περίπου το 56%. Η παραγωγή βιοντίζελ για το έτος 2018 ανήλθε περίπου στα 34,9 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου με την Ευρώπη να αντιπροσωπεύει περίπου το 37%. Στα Σχήματα 2.3.3 και 2.3.4 αποτυπώνονται στο μεν πρώτο η παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων ανά τον κόσμο εκφραζόμενη σε (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) για την χρονική περίοδο μεταξύ 2008 έως 2018 ενώ στο δεύτερο την παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων ανά είδος εκφραζόμενη σε (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) για την χρονική περίοδο μεταξύ 2008 & 2018. (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).

### World biofuels production by region (million tonnes oil equivalent)

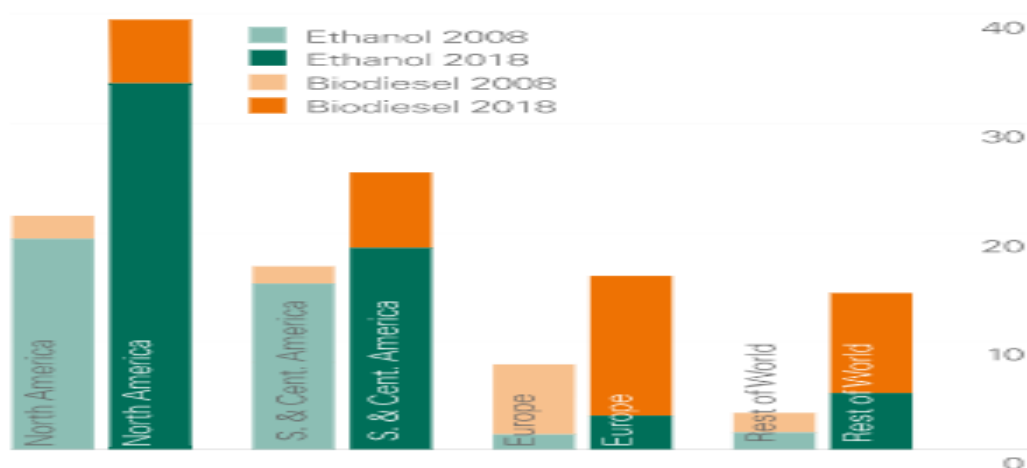


Σχήμα 2.3.3 Παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων ανά τον κόσμο εκφραζόμενη (σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) χρονικής περιόδου 2008 έως 2018. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

Βάσει των στοιχείων που παρατίθενται από το Σχήμα 2.3.3 γίνεται κατανοητό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ενέργειας από την χρήση βιοκαυσίμων το έχει η

κατηγορία που αφορά άλλες χώρες του κόσμου με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 95 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, ενώ εν συνεχεία ακολουθεί η Ευρώπη με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 84 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, στην συνέχεια ακολουθεί η Νότια και κεντρική Αμερική με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 68 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και τέλος ακολουθεί η Βόρεια Αμερική με ποσοστό που το 2018 ανέρχεται περίπου στα 44 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Σημειώνεται τέλος ότι για την χρονική περίοδο 2010 και 2012 υπήρξε μια σταθεροποίηση του ποσοστού παραγωγής για την Ευρώπη και την Νότια και κεντρική Αμερική ενώ κάτι αντίστοιχο συνέβη και για την Βόρεια Αμερική την χρονική περίοδο μεταξύ 2011 και 2013. (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).

### World biofuels production by type (million tonnes oil equivalent)



Σχήμα 2.3.4 Παραγωγή βιοκαυσίμων ανά είδος ανά τον κόσμο εκφραζόμενη (σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) περιόδου 2008 & 2018. Source: (BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition).

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.3.4 βασιζόμενοι στα στοιχεία που δίδονται κατόπιν σχετικής έρευνας, γίνεται κατανοητό πως το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ενέργειας από την χρήση βάσει του είδους των βιοκαυσίμων που χρησιμοποιούνται καταλαβαίνουμε ότι

στην πρώτη θέση βρίσκεται η Βόρεια Αμερική όπου το 2008 η παραγωγή ενέργειας από αιθανόλη έφτασε να αγγίζει τα 22 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και από την παραγωγή βιοντίζελ τα 25 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου επίσης για την χρονική περίοδο 2018 αυτά τα ποσοστά αυξήθηκαν και έφτασαν η μεν αιθανόλη τα 35 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και η σε παραγωγή από βιοντίζελ τα 42 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, στην συνέχεια ακολουθεί η Νότια και κεντρική Αμερική με ποσοστά αιθανόλης και βιοντίζελ για το έτος 2008 να φτάνουν τα 16 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και τα 18 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου αντίστοιχα, ενώ για το έτος 2018 αυτά τα ποσοστά αυξήθηκαν και έφτασαν η μεν αιθανόλη τα 20 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και η σε παραγωγή από βιοντίζελ τα 28 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, στην συνέχεια ακολουθεί η Ευρώπη με τα αντίστοιχα ποσοστά που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.3.4 και την τελευταία θέση συμπληρώνει η κατηγορία στην οποία ανήκουν όλες οι υπόλοιπες χώρες του κόσμου σημειώνοντας βέβαια ότι τα ποσοστά είναι σχετικά κοντά με αυτά της Ευρώπης (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα μέσω της αυξανόμενης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αποτελεί η μείωση της χρήσης των συμβατικών ορυκτών καύσιμων υλικών όπως π.χ. είναι το πετρέλαιο για την παραγωγή ενέργειας, το οποίο σηματοδοτεί παράλληλα στην ελάττωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα προς το περιβάλλον. Αντίθετα ένα από τα μειονεκτήματα μέσω της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), στην αγορά ενέργειας, αποτελεί το υψηλό ποσοστό μεταβλητότητας στην παραγόμενη ενέργεια μέσω αυτών των πηγών ενέργειας, ιδίως από την χρήση των αιολικών πάρκων αλλά και των φωτοβολταϊκών σταθμών. Αυτή η αστάθεια της λειτουργίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), έχει αρνητικό αντίκτυπο στην εξισορρόπηση της ισχύος στο δίκτυο και προκαλεί μείωση των δεικτών ποιότητας ισχύος της ενέργειας (Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

#### 3.1 Η έννοια του έξυπνου δικτύου

Ο Farhangi (2010) αναφέρει ότι το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για την ενίσχυση του δικτύου ισχύος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), έχει αποκτήσει σημαντική δημοτικότητα λόγω ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του, όπως π.χ. είναι η εφαρμογή της διεσπαρμένης παραγωγής, η ιδιότητα της αυτοθεραπείας, της ψηφιακής αμφίδρομης επικοινωνίας, της αυτοπαρακολούθησης κ.α. (Sarker, et al., 2019).

Ένα έξυπνο δίκτυο αντικατοπτρίζει την εξελιγμένη μορφή ενός συμβατικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω μιας σειράς αναβαθμίσεων αλλά και προσθηκών νέων τεχνολογιών στο υπάρχον δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η αρχιτεκτονική του βασίζεται στην ενσωμάτωση ευφύων δυνατοτήτων όπως π.χ. αυτό της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών στο ήδη υπάρχον σύστημα (Hu & Lanzon, 2019).

Το έξυπνο δίκτυο χαρακτηρίζεται από έναν συνδυασμό αυξημένης παρατηρητικότητας και αποτελεσματικότητας που έχει ως στόχο την ενίσχυση παραμέτρων του δικτύου όπως π.χ. είναι η αξιοπιστία και η σταθερότητα. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι αλλά και για να ικανοποιηθούν οι πιθανές μελλοντικές προσδοκίες, το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να ενσωματώσει στο περιβάλλον λειτουργίας του μέσα όπως π.χ. είναι:

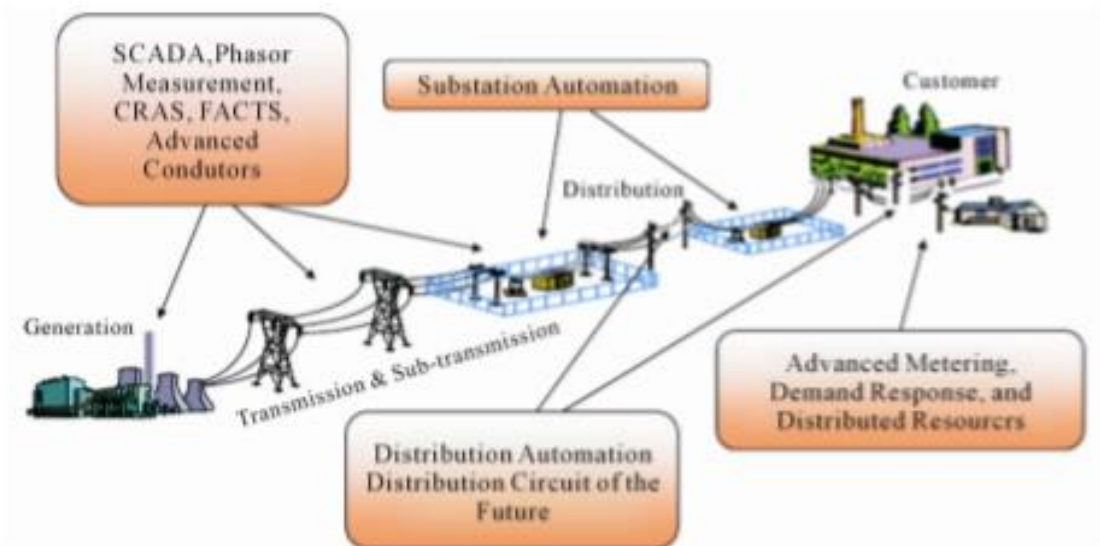
1. Η ευρεία χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
2. Η παροχή τιμολογίων με δυνατότητα ενημέρωσης σε πραγματικό χρόνο των καταναλωτών σχετικά με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Η χρήση ειδικών προγραμμάτων που σχετίζονται με το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), τόσο για οικιακούς όσο και για εμπορικούς πελάτες.
4. Η γρήγορη και αποτελεσματική ανίχνευση αλλά και επίλυση των ενδεχόμενων διακοπών.

Όλες αυτές οι παραπάνω λειτουργίες για να υλοποιηθούν σωστά απαιτούν την συλλογή και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η οποία βέβαια επιτυγχάνεται κατόπιν ειδικών ελέγχων που πραγματοποιούνται μέσω της χρήσης

κατάλληλων τεχνολογιών όπως π.χ. αποτελεί η περίπτωση της χρήσης των έξυπνων μετρητών, των αυτοματισμών, των αισθητήρων κ.α. Αυτά τα δεδομένα εν συνεχεία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ηλεκτρικών φορτίων αλλά και για το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) για ενέργεια. Παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος ελέγχου και συλλογής πληροφοριών αποτελεί το σύστημα ((Supervisory Control and Data Acquisition, (SCADA)), το οποίο μπορεί και παρέχει την δυνατότητα στον ελεγκτή να έχει άμεση πληροφόρηση σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί στο δίκτυο όπως π.χ. για τα σημεία των διακοπών, για τα επίπεδα της τάσης, για τα επίπεδα των παραγωγικών μονάδων, για την κατάσταση του εξοπλισμού κ.α. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνουν την δυνατότητα στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ), να προβλέπουν με ακρίβεια, να παρακολουθούν αλλά και να ελέγχουν την ροή της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο το δίκτυο.

Το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grids, (SG)), μπορεί να προσαρμόσει την παραγωγή ενέργειας μέσω χρήσης των ΑΠΕ, να δημιουργήσει έξυπνα συστήματα μέτρησης καθώς και να διανέμει και να μεταδώσει την ισχύ του δικτύου χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών. Επιπλέον, το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grids, (SG)), μπορεί να ελέγχει και να διαχειρίζεται την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, να κατασκευάζει την υποδομή αλλά και να διαχειρίζεται τους αποκεντρωμένους ενεργειακούς πόρους.

Επιπρόσθετα προσφέρεται η δυνατότητα μετατροπής του ηλεκτρικού δικτύου σε ένα αμφίδρομο σύστημα ισχύος, στο οποίο οι πελάτες θα έχουν το πλεονέκτημα να μπορούν να παρέχουν και να λαμβάνουν ισχύ από και προς το δίκτυο, μετατρέποντας έτσι το δίκτυο σε ένα σύστημα κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα βρίσκει εφαρμογή στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και σε όλη τη διαδρομή προς τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε πρόκειται για οικιακούς, είτε για βιομηχανικούς καταναλωτές. Το Σχήμα 3.1, αναδεικνύει τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα έξυπνο δίκτυο.



**Figure 1. Components of smart grid.**

Σχήμα 3.1 Μέρη που συνθέτουν το έξυπνο δίκτυο. Source: (Vijayaripriya & Kothari 2011).

Βάσει του Σχήματος 3.1 μπορεί να γίνει αναφορά στα εξής πράγματα τα οποία έχουν να κάνουν τόσο με τους όρους όσο και με τις υπηρεσίες που παρέχονται ανά τομέα στο λεγόμενο έξυπνο δίκτυο:

1. Ο όρος των πελατών, αναφέρεται στους τελικούς χρήστες, δηλαδή τους καταναλωτές χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου βέβαια εκτός από το να καταναλώνουν ενέργεια μπορούν επίσης να παράγουν αλλά και να διαχειρίζονται κομμάτι της ενέργειας. Υπάρχουν τρεις τύποι πελατών που σχετίζονται με την ενέργεια και είναι οι οικιακοί, οι εμπορικοί αλλά και οι βιομηχανικοί πελάτες.
2. Ο όρος των αγορών, αναφέρεται στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αποτελείται τόσο από φορείς εκμετάλλευσης όσο και από συμμετέχοντες. Αντικατοπτρίζει τις δυνατότητες της αγοράς σε σχέση π.χ. με την εμπορία ενέργειας, την μαζική αγορά αλλά και την λιανική αγορά.
3. Ο όρος των οργανισμών παροχής υπηρεσιών που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια, αναφέρονται στις υπηρεσίες που παρέχονται τόσο στους καταναλωτές όσο και στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας.
4. Ο όρος των λειτουργιών, αναφέρεται στους κεντρικούς διαχειριστές παραγωγής και διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η ΔΕΗ.
5. Ο όρος της παραγωγής της ενέργειας, αναφέρεται στο κομμάτι της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα αφορά τους σταθμούς παραγωγής, όπου με

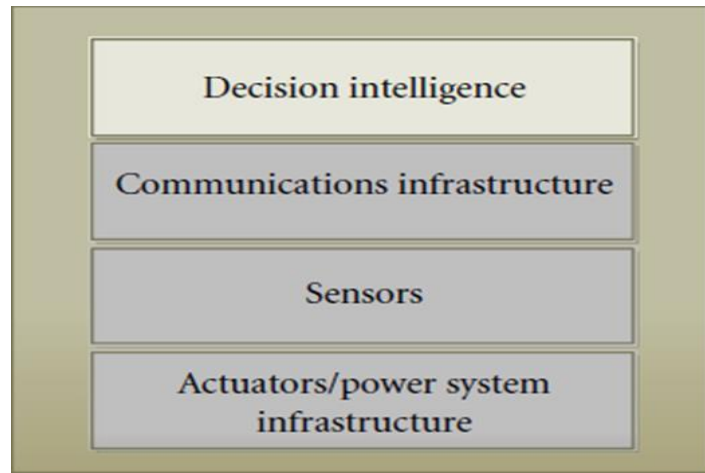


την χρήση των γεννητριών εξασφαλίζουν την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και εν συνεχεία την διανομή της. Επίσης το κομμάτι της παραγωγής περιλαμβάνει τόσο παραδοσιακές πηγές παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και διεσπαρμένους ενεργειακούς πόρους ((Distributed Energy Resources, (DER)). Η παραγωγή ενέργειας μπορεί να επιτυγχάνεται είτε από την χρήση άνθρακα, είτε από χρήση της πυρηνικής ενέργειας, είτε και από την χρήση των ΑΠΕ όπως π.χ. είναι η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας μεγάλης κλίμακας η οποία συνήθως συνδέεται με το κομμάτι της μεταφοράς. Το κομμάτι της διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας ((Distributed Energy Resources, (DER)), σχετίζεται με την παραγωγή αλλά και την αποθήκευση της ενέργειας από τοπικές παραγωγικές μονάδες, οι οποίες εν συνεχεία παραθέτουν την παραγωγή ενέργειας τους στο κεντρικό δίκτυο παροχής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

6. Ο όρος της μεταφοράς της ενέργειας, αναφέρεται στις μεγάλες γραμμές μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των κέντρων παραγωγής και κατανάλωσης. Οι γραμμές μεταφοράς είναι υψηλής τάσης είναι δηλαδή της τάξεως είτε των 66KV, είτε των 150KV, είτε των 400KV, καθώς επίσης συμβάλλουν τόσο στην αποθήκευση όσο και στην παραγωγή ηλεκτρισμού.
7. Ο όρος της διανομής της ενέργειας, αναφέρεται στο κομμάτι της υλικοτεχνικής υποδομής η οποία περιλαμβάνει τους υποσταθμούς, τα δίκτυα διανομής, τους παραμέτρους ελέγχου, προστασίας και διακοπής για την επίτευξη της αμφίδρομης διανομής & διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τους πελάτες, εδώ σημειώνεται πως από την πλευρά του καταναλωτή αναφερόμαστε σε χαμηλή και σε μέση τάση, δηλαδή τάση είτε των 6,6 KV, είτε των 22 KV, οι οποίοι μάλιστα μπορούν επίσης να παράγουν και εν συνεχεία είτε να αποθηκεύουν είτε να διοχετεύουν αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο (Vijayarajya & Kothari 2011).

### **3.2 Δομή έξυπνου δικτύου**

Η δομή του έξυπνου δικτύου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.1 και εν συνεχεία αμέσως στις επόμενες παραγράφους γίνεται εκτενέστερη ανάλυση για το κάθε πεδίο ξεχωριστά.



Εικόνα 3.2.1: Δομή έξυπνου δικτύου. Source: (Yi et al., 2011).

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.2.1 η δομή του έξυπνου δικτύου αποτελείται από τέσσερα πεδία:

- Το πρώτο πεδίο αφορά τους ενεργοποιητές και την υποδομή του συστήματος ισχύος. Η υποδομή του συστήματος ισχύος αποτελείται από συσκευές που σχετίζονται με την μετατροπή της ισχύος, την μεταφορά, την κατανάλωση κ.α. Τα έξυπνα δίκτυα αποτελούνται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, έξυπνους μετρητές, πυκνωτές κ.α. συσκευές. Οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν την αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ) και των καταναλωτών, δίνοντας τους έτσι την δυνατότητα να παράγουν και να τροφοδοτούν το δίκτυο με ενέργεια, καθιστώντας τους έτσι πέρα από πελάτες και ως πωλητές. Αυτό το γεγονός φέρνει σημαντικές εξελίξεις οι οποίες έχουν να κάνουν με την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος, διότι εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), θα μπορούν να τροφοδοτήσουν το δίκτυο κατά την διάρκεια εκδήλωσης πιθανών διακοπών ρεύματος. Επίσης με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται και η αποδοτικότητα του συστήματος, καθώς εξαλείφονται οι απώλειες των γραμμών λόγω της μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων. Οι δυνατότητες που προσφέρουν τα έξυπνα δίκτυα θα οδηγήσουν στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στο παραγωγικό κομμάτι της ενέργειας με αποτέλεσμα να επέλθει έτσι μείωση της εξάρτησης από την χρήση των ορυκτών καύσιμων αλλά και συνεπώς παράλληλα και

μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid 2010).

- Το δεύτερο πεδίο αφορά τους αισθητήρες. Η αξιοπιστία του συστήματος ισχύος βελτιώθηκε σημαντικά μέσω της χρήσης των αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετούνται σε όλους τους ενδιάμεσους κόμβους εντός του συστήματος. Αυτοί οι αισθητήρες επιτρέπουν την ανίχνευση σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο αλλά και την απομόνωση τους, μέσω αμφίδρομων ψηφιακών ζεύξεων επικοινωνίας. Επίσης παρέχουν λεπτομερή δεδομένα για την κατάσταση του συστήματος, δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν μια γρήγορη ανάλυση του συστήματος και συνάμα να υπάρξει μια προετοιμασία κατά την διάρκεια εμφάνισης πιθανών σφαλμάτων αλλά και ενδεχόμενων αλλαγών των επιπέδων τάσης. Οι έξυπνοι μετρητές δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες αλλά και στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ), να πληροφορούνται και να συλλέγουν δεδομένα που αφορούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο αλλά και επιτρέπουν τόσο την απομακρυσμένη παρακολούθηση όσο και τον έλεγχο των φορτίων, καθώς και των οικιακών συσκευών. Οι καταναλωτές τέλος θα μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες που σχετίζονται με την τιμολόγηση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο προς όφελος τους.
- Το τρίτο πεδίο αφορά τις επικοινωνίες. Οι επικοινωνίες αποτελούν τον συνδεδεμένο κρίκο για την σύνδεση όλων αυτών των διαφορετικών πεδίων μαζί. Επίσης αποτελούνται από ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπως π.χ. είναι το πρότυπο επικοινωνίας 802.11 Wi-Fi, οι οπτικές ίνες, το πρότυπο 802.15.4, το πρότυπο επικοινωνίας Zigbee και τα συστήματα μεταφοράς γραμμών της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το τέταρτο πεδίο αφορά την πληροφορία και την λήψη αποφάσεων μέσω χρήσης της μεθόδου τεχνητής νοημοσύνης. Αναφέρεται στην αυτοματοποίηση του υποσταθμού, στην διαχείριση των σφαλμάτων, στην διανομή του φορτίου και σε άλλες στρατηγικές ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση της σταθερότητας του συστήματος αλλά και την εξισορρόπηση της ζήτησης για ενέργεια (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

### 3.3 Τα χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου είναι:

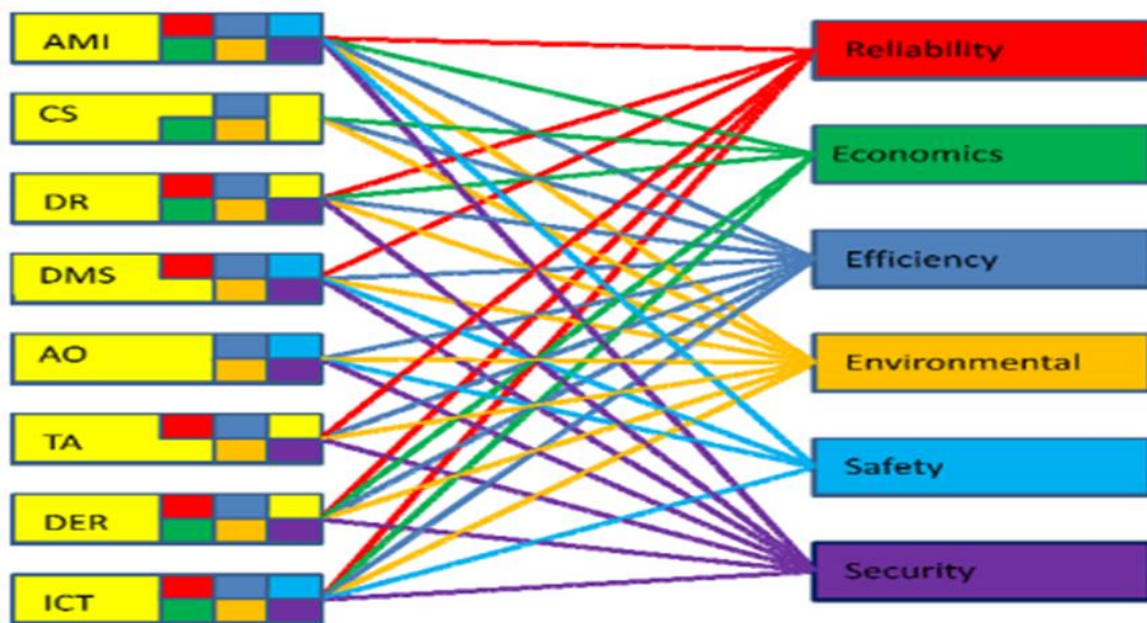
1. Επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα οι επιλογές που δίνονται στους καταναλωτές αλλά και η αυξημένη αλληλεπίδραση με το δίκτυο να εμφανίζουν αισθητά οφέλη τόσο στο δίκτυο όσο και στο περιβάλλον, μειώνοντας παράλληλα το κόστος της διανομής και παραγωγής της ενέργειας.
2. Προβάλλει νέα προϊόντα και υπηρεσίες στις αγορές. Μέσω της χρήσης των έξυπνων δικτύων αποκαλύπτονται προβλήματα όπως π.χ. αποτελεί η περίπτωση τόσο της σπατάλης όσο και της ανεπάρκειας της ενέργειας που εμφανίζεται στην αγορά, με στόχο να βοηθήσουν το σύστημα ενέργειας προσφέροντας νέες καταναλωτικές επιλογές όπως π.χ. είναι η νέα γενιά των ηλεκτρικών οχημάτων.
3. Επιτυγχάνει βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου μέσω χρήσης ικανών και αποδοτικών προγραμμάτων ελέγχου και συντήρησης του δικτύου τα οποία αποσκοπούν στην επίτευξη εμφάνισης λιγότερων αποτυχιών τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού & ασφάλειας λειτουργίας όσο και σε κόστος συντήρησης και αποκατάστασης του δικτύου.
4. Αναβαθμίζει την απόδοση αλλά και την αξιοπιστία του συστήματος μεταφοράς ενέργειας των χωρών, επίσης ενθαρρύνει και την παραγωγή ενέργειας μέσω χρήσης των ΑΠΕ.
5. Προσφέρει την δυνατότητα στους καταναλωτές μέσω της χρήσης κατάλληλης τεχνολογίας και προγραμμάτων όπως π.χ. αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές για ένα λεπτομερέστερο έλεγχο που σχετίζεται τόσο με την χρησιμοποιούμενη ενέργεια όσο και με την κοστολόγηση της (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

Όλη αυτή η τεχνολογική ανάπτυξη θα προσφέρει λύσεις τόσο στην βελτίωση του τρόπου σχεδιασμού όσο και του τρόπου λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου. Στην συνέχεια αναδεικνύονται κάποιες τεχνολογικές λύσεις που εξετάζονται γενικά όταν αναπτύσσεται ένα σχέδιο εφαρμογής ενός έξυπνου δικτύου οι οποίες είναι οι εξής:

1. Προηγμένη υποδομή μέτρησης, ((Advanced Metering Infrastructure, (AMI))).
2. Συστήματα από την πλευρά του πελάτη, ((Customer Side Systems, (CS))).
3. Σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση, ((Demand Response, (DR))).

4. Σύστημα διαχείρισης διανομής & αυτοματισμοί διανομής, ((Demand Site Management, (DSM)) / Distribution Automation).
5. Εφαρμογές βελτίωσης της μετάδοσης, ((Transmission Enhancement Applications, (TA)).
6. Βελτιστοποίηση περιουσιακών στοιχείων & συστημάτων, ((Asset/System Optimization, (AO)).
7. Διανεμημένοι ενεργειακοί πόροι, ((Distributed Energy Resources, (DER)).
8. Ενσωμάτωση πληροφοριών και επικοινωνιών στο σύστημα δικτύου, ((Information and Communications Integration, (ICT)).

Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογικών λύσεων αναμένεται να βελτιώσει τους έξι βασικούς τομείς του δικτύου που αναφέρονται: 1) Στην αξιοπιστία, 2) στην οικονομία, 3) στην αποδοτικότητα, 4) στο περιβάλλον και τέλος 5) & 6) αναφέρονται στην ασφάλεια του συστήματος. Στο Σχήμα 3.3.1 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ αυτών των τεχνολογικών λύσεων και των βασικών παραμέτρων τους.



Σχήμα 3.3.1 Τεχνολογικές λύσεις & βασικοί παράμετροι του δικτύου. Source: (National Energy Technology Laboratory [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov) Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

Τα συγκεκριμένα οφέλη που αναμένεται να προκύψουν λόγω βελτιώσεων σε κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους αναλύονται λεπτομερέστερα στις παρακάτω ενότητες.

### **3.4 Η έννοια της αξιοπιστίας στα έξυπνα δίκτυα**

Ένα δίκτυο χαρακτηρίζεται ως αξιόπιστο όταν αυτό είναι ικανό για να καλύψει επαρκώς με ηλεκτρική ενέργεια τις απαιτήσεις των καταναλωτών όταν αυτοί βέβαια το χρειάζονται. Για να βελτιωθεί η αξιοπιστία του δικτύου θα πρέπει γενικά να υπάρξει μια σχετική μείωση τόσο στην συχνότητα όσο και στην διάρκεια εμφάνισης των διακοπών. Η βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου θα οδηγήσει με την σειρά της σε ορισμένα οφέλη που θα βοηθήσουν και θα αφορούν τομείς όπως είναι:

Οι εταιρείες διανομής ενέργειας όπως π.χ. είναι ο (ΑΔΜΗΕ): Όπου λόγω της καλής αξιοπιστίας του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων, καθώς πλέον οι εργαζόμενοι θα υποβάλλονται σε λιγότερο επικίνδυνες συνθήκες εργασίας.
2. Μεγαλύτερο αίσθημα ικανοποίησης απέναντι στους πελάτες και γενικά στην κοινωνία λόγω της ομαλής λειτουργίας που θα προσφέρει το δίκτυο.
3. Μείωση του κόστους κεφαλαίου, λόγω της ομαλής λειτουργίας τόσο του εξοπλισμού όσο και των εμπλεκόμενων συσκευών του δικτύου.

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ): Όπου λόγω της καλής αξιοπιστίας του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν: Μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας ορισμένων γεννητριών, όπου θα έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται και η ενδεχόμενη φθορά των γεννητριών.

Οι οικιακοί καταναλωτές ενέργειας: Όπου λόγω της καλής αξιοπιστίας του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν: Αύξηση του επιπέδου της εξυπηρέτησης των καταναλωτών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται λιγότερα προβλήματα, τα οποία βέβαια προέρχονται είτε από διακοπές ηλεκτροδότησης αλλά είτε και λόγω της κακής ποιότητας της ισχύος του δικτύου. Γενικά τα οφέλη που σχετίζονται με την αξιοπιστία του δικτύου σε σχέση πάντα με τους οικιακούς καταναλωτές δεν είναι τόσο οικονομικής φύσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου λόγω εκτεταμένων χρονικών περιόδων χωρίς την παρουσία ηλεκτρικής ενέργειας να υπάρξουν προβλήματα όπως π.χ. είναι η αλλοίωση των τροφίμων, καθώς επίσης και λόγω των συχνών διακοπών και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις

όπου δεν υπάρχει κάποιο άλλο σύστημα υποκατάστασης της παροχής ρεύματος όπως π.χ. είναι η χρήση ups στους Η/Υ ή κάποιας γεννήτριας, με συνέπεια να υπάρξουν περιπτώσεις μερικής ή ακόμα και ολικής καταστροφής των ηλεκτρικών συσκευών.

Αντίθετα σε ότι αφορά τόσο τους εμπορικούς όσο και τους βιομηχανικούς καταναλωτές (Commercial & industrial consumers), θα εμφανιστούν σημαντικά οφέλη από την παρουσία μιας βελτιωμένης αξιοπιστίας στο δίκτυο, καθώς πολλά από τα φορτία στις εγκαταστάσεις τόσο των εμπορικών όσο και των βιομηχανικών προϊόντων βασίζονται σε ηλεκτρονικά συστήματα, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούν και υψηλότερα επίπεδα ενεργειακής κάλυψης. Επίσης οι σύντομες στιγμιαίες διακοπές μπορεί να οδηγήσουν σε μια κατάσταση χάους. Τέλος οι απώλειες στο κομμάτι της παραγωγής αλλά και οι επιπτώσεις στην ασφάλεια των εργαζομένων είναι σημαντικές. Ως επακόλουθο όλων αυτών των παραμέτρων τίθεται το θέμα ότι με την σειρά τους αυτές οι δαπάνες συχνά να μεταφέρονται και έχουν αντίκρισμα υπό την μορφή υψηλότερων τιμών, τόσο για τα προϊόντα όσο και τις υπηρεσίες τους. Συνεπώς η μείωση αυτών των ζημιών θα πρέπει να αποτελεί και να ασκεί μια πίεση προς τα κάτω σε σχέση πάντα με τις αντίστοιχες τιμές των προϊόντων τους (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

### **3.5 Η έννοια της βελτίωσης της οικονομίας στα έξυπνα δίκτυα**

Οι βελτιώσεις στην οικονομία εμπίπτουν σε χαμηλότερες χρεώσεις των λογαριασμών του ηλεκτρικού ρεύματος έναντι των καταναλωτών. Επίσης μια καλή οικονομία δημιουργεί ευκαιρίες για την εισαγωγή νέων προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στην αγορά. Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κομμάτι της βελτιωμένης οικονομίας του δικτύου και οδηγούν σε ορισμένα οφέλη που αφορούν τομείς όπως είναι:

Οι εταιρείες διανομής ενέργειας όπως π.χ. είναι ο (ΑΔΜΗΕ): Όπου λόγω της βελτίωσης της οικονομίας του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Πολυάριθμες ευκαιρίες στο κομμάτι της αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων αλλά και για την είσοδο σε νέες αγορές που δημιουργούνται από την χρήση του έξυπνου δικτύου, όπως π.χ. είναι το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)).

2. Αύξηση των εσόδων, τα οποία βέβαια θα αποτελούν αποτέλεσμα μιας σειράς πραγμάτων όπως π.χ. είναι τα μειωμένα κρούσματα ρευματοκλοπής, η βελτιωμένη έγκυρη και συνάμα ακριβή μέτρηση της ενέργειας του συστήματος, χάρη βέβαια στην χρήση των έξυπνων μετρητών έναντι των παραδοσιακών μεθόδων, καθώς επίσης και από τις μειωμένες διακοπές ηλεκτροδότησης στο σύστημα.

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ): Όπου λόγω της βελτίωσης της οικονομίας του δικτύου μπορούν να επιτύχουν:

1. Την δημιουργία νέων ευκαιριών στην αγορά σε σχέση με την διεσπαρμένη παραγωγή και την αποθήκευση της ενέργειας.
2. Μια σειρά ευκαιριών για ενασχόληση τους με επιχειρήσεις που σχετίζονται με την διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας, ((Distributed Energy Resources, (DER)), και αναφέρονται στην διανομή και κατανομή των ενεργειακών πόρων. Αυτό βέβαια αποτελεί αποτέλεσμα κάποιων παραμέτρων που ωθούν προς αυτήν την κατεύθυνση όπως π.χ. είναι η ζήτηση για χαμηλότερο κόστος αλλά και η φιλικότερη προς το περιβάλλον κατανεμημένη παραγωγή και αποθήκευση της ενέργειας.

Οι οικιακοί καταναλωτές ενέργειας: Όπου λόγω της βελτίωσης της οικονομίας του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Πτώση των τιμών ενέργειας αλλά και των συνολικών λογαριασμών των πελατών.
2. Αυξημένες δυνατότητες, ευκαιρίες καθώς και κίνητρα για μείωση κατανάλωσης της ενέργειας.
3. Ευκαιρίες μείωσης του κόστους της μεταφοράς, μέσω της χρήσης ηλεκτρικών έναντι των συμβατικών οχημάτων.
4. Δυνατότητες αλλά και ευκαιρίες πώλησης μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τους στο δίκτυο.

Σύμφωνα με δεδομένα που προέκυψαν κατόπιν διεξαγωγής διαφόρων μελετών και πειραμάτων πάνω στο κομμάτι της τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας, αποδεικνύουν ότι οι οικιακοί καταναλωτές θα αλλάξουν την συμπεριφορά τους σε σχέση με τον τρόπο διαχείρισης της ενέργειας τους σε συνάρτηση με τις χρονομετρικές τιμές, ανάλογα με την εκάστοτε τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία βέβαια θα είναι διαφορετική σε κάθε χρονική περίοδο. Αυτή η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας κατά την χρονική διάρκεια των περιόδων αιχμής της ζήτησης για ενέργεια θα οδηγήσει σε μειωμένους



λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος, βέβαια πάντα σε λογικά πλαίσια για τον καθένα.

Αντίθετα σε ότι έχει να κάνει με τους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων αλλά και των υψηλότερων επιπέδων κατανάλωσης, θα έχουν μια καλή ευκαιρία στο να μειώσουν το κόστος, τόσο της ενέργειας όσο και της ζήτησης, συμμετέχοντας με το έξυπνο δίκτυο (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

### **3.6 Η έννοια της βελτίωσης της απόδοσης στα έξυπνα δίκτυα**

Οι βελτιώσεις της απόδοσης του συστήματος θα μειώσουν το κόστος παραγωγής, μεταφοράς αλλά και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μείωση των δαπανών που σχετίζονται τόσο με τα λειτουργικά όσο και με τα θέματα συντήρησης, ((Operation & Maintenance, (O&M) cost), καθώς επίσης και οι μειώσεις τόσο στις επενδύσεις κεφαλαίου όσο και στην ποσότητα της ενέργειας που θα καταναλώνουν οι καταναλωτές, θα ασκήσει μια πτωτική πίεση στις μελλοντικές τιμές της ενέργειας και θα βοηθήσει τις χώρες να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικότερα τους πολύτιμους ενεργειακούς τους πόρους. Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κομμάτι της βελτιωμένης απόδοσης του δικτύου και οδηγούν σε ορισμένα οφέλη που αφορούν τομείς όπως είναι:

Οι εταιρείες διανομής ενέργειας όπως π.χ. είναι ο (ΑΔΜΗΕ): Όπου λόγω της βελτίωσης της απόδοσης του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Μειώσεις των απωλειών που εμφανίζουν οι γραμμές, τόσο κατά την φάση της μετάδοσης όσο και κατά την φάση της διανομής.
2. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα και αυτό λόγω της βελτιωμένης διαχείρισης της ενεργειακής κατάστασης του δικτύου.
3. Καλύτερη πρόβλεψη του φορτίου η οποία θα αποσκοπεί σε πιο ακριβείς προβλέψεις για το πότε θα χρειαστούν νέες επενδύσεις κεφαλαίου.

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ): Όπου λόγω της βελτίωσης της απόδοσης του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα στους παραγωγούς δίνοντας τους μεγαλύτερη πρόσβαση στις αγορές, χάρη στην μειωμένη συμφόρηση στο σύστημα μετάδοσης.
2. Λιγότερες αναγκαστικές διακοπές λόγω της ύπαρξης ενός πιο αξιόπιστου αλλά και αποτελεσματικότερου συστήματος μεταφοράς.

Οι οικιακοί καταναλωτές ενέργειας: Όπου λόγω της βελτίωσης της απόδοσης του δικτύου θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Περισσότερες δυνατότητες και συνάμα ευκαιρίες αλλά και κίνητρα για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα κατά την κατανάλωση της ενέργειας.
2. Αυξημένη επιρροή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η συντήρηση αλλά και η μείωση του φορτίου αιχμής σε συνδυασμό με την χρήση τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων, παρέχουν στους καταναλωτές την δυνατότητα να είναι πιο αποτελεσματικοί στην κατανάλωσή τους. Αυτή η βελτίωση της αποτελεσματικότητας, βοηθά την εταιρεία διανομής να μειώσει το κόστος της, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των τιμών χονδρικής αγοράς, καθώς θα μειώνεται η ζήτηση. Ενώ από την μια πλευρά η συμβολή κάθε καταναλωτή ως προς την βελτίωση της αποτελεσματικότητας είναι μικρή από την άλλη συλλογικά μπορεί να επιφέρει σημαντικά κοινωνικά οφέλη.

Αντίθετα οι εμπορικοί και βιομηχανικοί καταναλωτές λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων και των υψηλότερων επιπέδων κατανάλωσης που έχουν θα μπορούν να έχουν σημαντικότερο αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα. Παράδειγμα αποτελούν οι μεγαλύτεροι καταναλωτές που δεν είναι άλλοι από τις Ηνωμένες Πολιτείες, που έχουν ήδη αρχίσει να συμμετέχουν σε προγράμματα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), για να μπορέσουν να εργάζονται για την μείωση του μέγιστου φορτίου αιχμής της ζήτησης (peak) (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

### **3.7 Η έννοια της βελτίωσης της κατάστασης για το περιβάλλον στα έξυπνα δίκτυα**

Οι περιβαλλοντικές βελτιώσεις έχουν αντίκρυσμα στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που οφείλεται τόσο στις μονάδες παραγωγής ενέργειας όσο και στην αναμενόμενη εμπλοκή των έξυπνων δικτύων για την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κομμάτι της βελτιωμένης κατάστασης που επικρατεί για το περιβάλλον και οδηγούν σε ορισμένα οφέλη που αφορούν τομείς όπως είναι:

Οι εταιρείες διανομής ενέργειας όπως π.χ. είναι ο (ΑΔΜΗΕ): Όπου λόγω της βελτιωμένης κατάστασης που επικρατεί για το περιβάλλον θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Αυξημένη δυνατότητα ενσωμάτωσης και χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2. Αυξημένη δυνατότητα υποστήριξης της ενσωμάτωσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Οι μειωμένες απώλειες που επιτυγχάνονται από την χρήση ενός έξυπνου δικτύου θα επιτρέψουν στις εταιρείες διαμονής, να μειώσουν την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας, που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου φορτίου, πράγμα που συνεπάγεται και με μείωση των εκπομπών. Επίσης λόγω της αυξημένης γνώσης που σχετίζεται με την κατάσταση που επικρατεί στο έξυπνο δίκτυο, της προηγμένης μεθόδου αποθήκευσης ενέργειας αλλά και των νέων συσκευών ελέγχου, οι διαχειριστές των συστημάτων θα είναι σε θέση να ενσωματώσουν πρόσθετες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πέραν του προβλεπόμενου που μπορεί να επιτευχθεί με το υπάρχον σημερινό δίκτυο.

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ): Όπου λόγω της βελτιωμένης κατάστασης που επικρατεί για το περιβάλλον θα μπορούν να επιτύχουν: Την εξασφάλιση νέων ευκαιριών που θα προκύψουν στο κομμάτι της παραγωγής αλλά και στο κομμάτι της αποθήκευσης της ενέργειας μέσω της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πράγμα που θα οφείλεται κυρίως στην ικανότητα του έξυπνου δικτύου να υποστηρίζει αυξημένα επίπεδα (intermittent resources), δηλαδή διαλείπων πόρων, όπως π.χ. είναι η ηλιακή, αιολική και κυματική ενέργεια (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

Οι οικιακοί καταναλωτές ενέργειας: Όπου λόγω της βελτιωμένης κατάστασης που επικρατεί για το περιβάλλον θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Αυξημένες δυνατότητες, ευκαιρίες αλλά και κίνητρα που αφορούν τον τομέα των μεταφορών, εμπίπτει σε μια προσέγγιση προς τα ηλεκτροκίνητα οχήματα.
2. Δυνατότητες βελτιστοποίησης της συμπεριφοράς της κατανάλωσης της ενέργειας με θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.
3. Αυξημένες δυνατότητες αγοράς ενέργειας από καθαρούς πόρους ενέργειας, δημιουργώντας έτσι περαιτέρω ζήτηση για την μετάβαση από την χρήση του άνθρακα σε μια πιο πράσινη οικονομία και ανάπτυξη.

Η μετάβαση σε μια πράσινη οικονομία θα είναι επιτυχής μόνο στην περίπτωση που το θέλουν οι ίδιοι οι οικιακοί καταναλωτές. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να προσφέρει την υποδομή για να υποστηρίξει αυτήν την μετατόπιση δίνοντας στους καταναλωτές την δυνατότητα να συμμετέχουν στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, στην μείωση της

κατανάλωσης της ενέργειας και κατά συνέπεια συμβάλλοντας έτσι και στην μείωση των εκπομπών προς το περιβάλλον. Σημειώνουμε βέβαια ότι η συμβολή κάθε καταναλωτή στην μείωση των εκπομπών είναι μικρή, συλλογικά όμως μπορεί να έχει σημαντικά κοινωνικά οφέλη.

Αντίθετα οι εμπορικοί αλλά και οι βιομηχανικοί καταναλωτές, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων αλλά και των υψηλότερων επιπέδων κατανάλωσης που έχουν θα μπορούν να έχουν σημαντικότερο αντίκτυπο στη μείωση των εκπομπών (National Energy Technology Laboratory, Understanding the Benefits of the Smart Grid, 2010).

### **3.8 Η έννοια της βελτίωσης της ασφάλειας στα έξυπνα δίκτυα**

Η έννοια της ασφάλειας στο έξυπνο δίκτυο παίζει σημαντικό ρόλο, διότι όπως είναι γνωστό το έξυπνο δίκτυο κατά την λειτουργία του απαιτεί λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας, προκειμένου να μπορέσουν να διευκολυνθούν υπηρεσίες όπως π.χ. είναι η τιμολόγηση & η χρέωση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, η διαχείριση της ενέργειας των πελατών αλλά και η πρόβλεψη του φορτίου του συστήματος. Η ιδέα της διαθεσιμότητας όμως τέτοιων λεπτομερών στοιχείων ανά τακτά χρονικά διαστήματα μεταξύ των 5 έως 15 λεπτών, τα οποία έχουν να κάνουν με την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε νοικοκυριό άρχισε να δημιουργεί ένα τεράστιο πρόβλημα ασφάλειας. Η ανάλυση τέτοιων στοιχείων μέσω των έξυπνων μετρητών, παρέχει την δυνατότητα προσδιορισμού των συσκευών που χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργήσει στους χρήστες ένα αίσθημα φόβου, μήπως και τους κατασκοπεύουν.

Η σύνδεση των έξυπνων μετρητών με το ηλεκτρικό δίκτυο αυξάνει επίσης το ερώτημα περί ενδεχόμενης απάτης των έξυπνων μετρητών, λόγω της επιθυμίας που επικρατεί στο να κρατηθούν όσο το δυνατό χαμηλότερα οι λογαριασμοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Η δυνατότητα αναφοράς ψευδών δεδομένων στο βοηθητικό πρόγραμμα θα έχει σαν αποτέλεσμα οι πελάτες να μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς τους ισχυρίζοντας ότι τροφοδοτούν το δίκτυο ή να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από την πραγματική τους. Ένα άλλο κομμάτι που μπορεί να επηρεαστεί από την σύνδεση μεταξύ των έξυπνων μετρητών και του ηλεκτρικού δικτύου, αναφέρεται στην ευπάθεια των εμπλεκόμενων συσκευών στο δίκτυο, λόγω πιθανών κακόβουλων επιθέσεων. Η διαδικτυακή αυτή σύνδεση των έξυπνων μετρητών τους καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτους σε

επιθέσεις άρνησης εξυπηρέτησης, ((Denial-Of-Service attacks, (DoS attacks)), κατά τις οποίες έχουν παρθεί αρκετά μέτρα για να κατακλύσουν το δίκτυο με δεδομένα προκειμένου να κλείσουν τμήματα του ηλεκτρικού δικτύου ή να αναφέρουν ψευδείς πληροφορίες με πιθανότητα να οδηγήσουν σε αποτυχίες του δικτύου.

Επίσης εμφανίζεται και το πρόβλημα του απορρήτου. Η έρευνα που σχετίζεται με την εφαρμογή της τεχνολογίας παρακολούθησης του φορτίου των ευπαθών συσκευών, ((Non-intrusive Appliance Load Monitoring, (NALM)), επέτρεψε την ταυτοποίηση των εμπλεκόμενων συσκευών στο δίκτυο, μέσω του προφίλ φόρτισης τους. Μέσα από την ανάλυση κατάλληλου λογισμικού είναι δυνατόν να προσδιοριστούν ποιες συσκευές χρησιμοποιούνται και σε τι συχνότητα.

Έτσι οι βελτιώσεις στην ασφάλεια είναι σημαντικές και έχουν ως στόχο την αύξηση της ανθεκτικότητας του δικτύου υπό την φυσική προοπτική και του κυβερνοχώρου, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων και συνεπειών που θα οφείλονται, τόσο στον ανθρώπινο παράγοντα όσο και σε φυσικές καταστροφές. Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κομμάτι της βελτίωσης της ασφάλειας που επικρατεί στο περιβάλλον λειτουργίας του έξυπνου δικτύου και οδηγούν σε ορισμένα οφέλη που αφορούν τομείς όπως είναι: Οι εταιρείες διανομής ενέργειας όπως π.χ. είναι ο (ΑΔΜΗΕ): Όπου λόγω της βελτιωμένης ασφάλειας που επικρατεί στο έξυπνο δίκτυο θα μπορούν να επιτύχουν:

1. Μειώσεις των πιθανοτήτων στο να συμβεί μια εσκεμμένη επίθεση, η οποία να μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικό όσο και σε ανθρώπινο παράγοντα.
2. Μεγάλες βελτιώσεις στους χρόνους αποκατάστασης λόγω των καιρικών φαινομένων όπως π.χ. είναι οι καταιγίδες.
3. Μειώσεις φαινομένων όπως είναι οι ενδεχόμενες ρευματοκλοπές αλλά και οι βανδαλισμοί σε ιδιοκτησίες, λόγω της αυξημένης δυνατότητας ανίχνευσης του συστήματος.

Αυτά τα οφέλη θα μειώσουν τις πιθανότητες εμφάνισης εκτεταμένων διακοπών που έχουν ως στόχο να επηρεάζουν την ασφάλεια των πελατών, μειώνοντας έτσι την απειλή και άλλες συνέπειες που να οφείλονται σε ανθρώπινο παράγοντα. Επίσης η αυξημένη εξάρτηση από τις ψηφιακές τεχνολογίες των έξυπνων δικτύων θα απαιτήσει την ανάπτυξη νέων συστημάτων για την αντιμετώπιση της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο.

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. είναι η (ΔΕΗ): Όπου λόγω της βελτιωμένης ασφάλειας που επικρατεί στο έξυπνο δίκτυο θα μπορούν να επιτύχουν: Μειώσεις της έκθεσης των μονάδων παραγωγής σε δυνητικά επιβλαβείς και επικίνδυνες διαταραχές εξαιτίας ενός πιο ασφαλούς συστήματος μετάδοσης.

Οι οικιακοί καταναλωτές ενέργειας: Όπου λόγω της βελτιωμένης ασφάλειας που επικρατεί στο έξυπνο δίκτυο θα μπορούν να επιτύχουν: Αυξήσεις στο ποσοστό ικανότητας των ανθρώπων οι οποίοι θα εργάζονται στο δίκτυο με στόχο να εντοπίζουν και να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των καταναλωτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ

#### 4.1 Η έννοια του έξυπνου μετρητή

Οι εξελίξεις που παρουσιάζονται από την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων αποτελούν προπομπό για έναν νέο δρόμο στον τομέα της ενέργειας, εστιάζοντας σε παράγοντες όπως είναι η παραγωγή, η μετάδοση, η διανομή και η κατανάλωση της ενέργειας. Ο Alexander (2012) αναφέρει ότι το έξυπνο δίκτυο θεωρείται στις μέρες μας πρωτοπόρος, λόγω της νέας τεχνολογικής προόδου που εμφανίζεται στον τομέα της επικοινωνίας, του ευφυούς κατανεμημένου αυτόνομου συστήματος ενέργειας, ((Intelligent Distributed Autonomous Power System, (IDAPS)), το οποίο με τη σειρά του παρέχει βελτιωμένη στήριξη σε παράγοντες όπως π.χ. είναι τα μικροδίκτυα, ο έξυπνος εξοπλισμός, η έξυπνη τεχνολογία των αισθητήρων, οι έξυπνες κατοικίες κλπ. Η αποδοτική λειτουργία του έξυπνου δικτύου βασίζεται στην πλήρη αμφίδρομη λειτουργία επικοινωνίας μεταξύ αυτού και των εμπλεκόμενων μονάδων που το πλαισιώνουν (Tokyo electric power company, 2012; Ghatage et al., 2013).

Η έννοια του έξυπνου μετρητή αποτελεί συνώνυμο αλλά παράλληλα και προέκταση της έξυπνης μέτρησης, ((Advanced metering infrastructure, (AMI)). Η έξυπνη μέτρηση είναι ένα από τα βασικότερα και αναπόσπαστα κομμάτια των έξυπνων δικτύων, με κύριο χαρακτηριστικό την μείωση κατανάλωσης της ενέργειας. Επίσης προσφέρει αμφίδρομη επικοινωνία και χάρη στην χρήση των ειδικών αισθητήρων ελέγχου, μπορεί να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη αλλά και καταγραφή του φορτίου της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές θα

μπορούν εν συνεχεία να χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία για την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω των προηγμένων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης όπως π.χ. είναι η ανάλυση cluster ή αλλιώς ομαδοποίηση, που χρησιμεύει για να μπορέσουν να προκύψουν οι σχέσεις μεταξύ της κατανάλωσης της ενέργειας και των διαφόρων μεταβλητών όπως π.χ. είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ώρα της ημέρας, κ.α. Επίσης λόγω της συσχέτισης που υπάρχει μεταξύ του έξυπνου μετρητή και της έξυπνης μέτρησης ((Advanced metering infrastructure, (AMI)), έχει σαν αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να προσελκύει και να υιοθετείται από σχεδόν όλο τον κόσμο λόγω της ταχείας ανάπτυξης του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), για το οποίο γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6.

Σύμφωνα με τους Alexander et al., (2012), & Ghatage et al., (2013), οι παραδοσιακοί μετρητές ενέργειας είναι μηχανικοί, αντίθετα οι έξυπνοι μετρητές είναι ηλεκτρονικοί και με δυνατότητα υποστήριξης αμφίδρομης επικοινωνίας, έτσι ώστε να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούν να συλλέγονται πληροφορίες αλλά και δεδομένα από απομακρυσμένα σημεία στο δίκτυο.

Ένας έξυπνος μετρητής είναι συνήθως ένας ηλεκτρικός μετρητής που καταγράφει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε χρονικά διαστήματα περίπου μιας ώρας και ανανεώνει τις πληροφορίες αυτές τουλάχιστον καθημερινά πίσω στο βοηθητικό πρόγραμμα για σκοπούς παρακολούθησης όσο και για χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας. (Botha 2008; Transportation demand management, 2013).

Οι μετρητές δεν είναι εξοπλισμένοι με κανένα σύστημα διαχείρισης της ενέργειας, ((Energy Management System, (EMS)). Η βελτίωση του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), αλλά και η εφαρμογή του στους έξυπνους μετρητές ((Smart Meters, SM)), με προαιρετική αυτόνομη λειτουργία, σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας μεταξύ άλλων στοιχείων του συστήματος, αποτελεί πλεονέκτημα για την αξιοπιστία ολόκληρου του συστήματος. Η εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας, ((Energy Management System, (EMS)), στους έξυπνους μετρητές επιτρέπει έναν σταδιακό αλλά συνάμα σε βάθος εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού δικτύου, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο μια ομοιόμορφη κατανομή του επενδυτικού κόστους μακροπρόθεσμα. Επιπλέον κάνοντας χρήση των κατάλληλων αλγόριθμων, το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System,

(EMS)), επιτρέπει την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τα περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της θερμοκρασίας αλλά και τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος. Λόγω του μεγάλου μεριδίου των συσκευών θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού, ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC)), στη συνολική ζήτηση της ενέργειας του κτιρίου, αυτό μπορεί να αποφέρει αισθητά οφέλη από την άποψη της εξοικονόμησης της ενέργειας.

Το έξυπνο σύστημα μέτρησης αποτελεί το πρώτο βήμα για την μετάβαση του ηλεκτρικού δικτύου στην ψηφιακή εποχή. Οι έξυπνοι μετρητές έχουν την δυνατότητα μέσω της χρήσης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας ZigBee, για το οποίο γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 4.2, να επιτυγχάνουν δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω της οποίας να επιτρέπεται στους καταναλωτές έτσι να βλέπουν δεδομένα που σχετίζονται είτε με τα ποσοστά κατανάλωσης της ενέργειας τους, είτε με τις προσαυξήσεις ανά μονάδα, είτε τέλος και με την ζήτηση για ενέργεια, γεγονός που ενθαρρύνει το στοιχείο τόσο της εξοικονόμησης ενέργειας όσο και του χρήματος.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των έξυπνων μετρητών σύμφωνα με τον Jan Top (2010) όπως π.χ.:

1. Απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητών: Αναφέρεται στο κεντρικό σύστημα ενέργειας όπου θα έχει την δυνατότητα να μπορεί να διαβάσει δεδομένα που θα προέρχονται από απομακρυσμένους έξυπνους μετρητές, κάτι το οποίο θα σημαίνει και πιο εύκολη ενημέρωση για τα επίπεδα της ζήτησης στο σύστημα.
2. Αυτόματη ειδοποίηση διακοπής: Αναφέρεται στις διακοπές του συστήματος, όπου μέσω της χρήσης των έξυπνων μετρητών θα υπάρχει αυτόματη ειδοποίηση του σημείου διακοπής στο κεντρικό σύστημα της ενέργειας, ώστε να επιτυγχάνεται πιο γρήγορα η αποκατάσταση των διαφόρων σφαλμάτων.
3. Δίκτυα τοπικής περιοχής, ((Home Area Network, (HAN)): Αναφέρεται στην δυνατότητα που παρέχουν οι έξυπνοι μετρητές στο να μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τις συσκευές των οικιακών δικτύων ((Home Area Network, (HAN)), οι οποίες είναι συμβατές με το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee, το οποίο μεσολαβεί για την σύνδεση μεταξύ του έξυπνου δικτύου και του κτιρίου, αλλά και με τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές όπως π.χ. είναι οι θερμοστάτες, τα κλιματιστικά κ.α., με σκοπό



βέβαια την επίτευξη καλύτερης διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές.

4. Ενεργειακή αποδοτικότητα και εξοικονόμηση ενέργειας: Αναφέρεται στους καταναλωτές, οι οποίοι πλέον θα μπορούν να δουν το ηλεκτρικό ιστορικό χρήσης της ενέργειας τους ώστε να μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα το ενεργειακό κόστος τους, κάνοντας μικρές αλλαγές όπως π.χ. είναι η ρύθμιση του θερμοστάτη (Ghatage et al., 2013).

#### 4.2 Το πρωτόκολλο Zigbee

Το πρωτόκολλο Zigbee αποτελεί προϊόν της εταιρείας ZigBee Alliance, η οποία ειδικεύεται στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας δικτύωσης για μικρές ζώνες εμβέλειας της τάξης των 2.4 GHz και υποστηρίζει μέγιστη ταχύτητα δεδομένων 250 Kbps χωρίς κρυπτογράφηση (Ghatage et al., 2013). Επίσης το πρωτόκολλο ZigBee υποστηρίζει την ασύρματη τεχνολογία δικτύου η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος, χαμηλή κατανάλωση αλλά και χαμηλή ταχύτητα δεδομένων, τέλος βασίζεται στο πρότυπο επικοινωνίας IEEE 802.15.4. Επιπλέον βρίσκει εφαρμογή στην έξυπνη μέτρηση αλλά και στο σύστημα ελέγχου μέσω της χρήσης αυτοματισμών των κτιρίων λόγω του χαμηλού κόστους του, της ευελιξίας του, της εκτεταμένης υποστήριξης αλλά και της διαλειτουργικότητας που το χαρακτηρίζει. Το Εθνικό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Πολιτειών Πρότυπων και Τεχνολογίας, ((National Institute of Standards and Technology, (NIST)), έχει καθορίσει το πρωτόκολλο Zigbee, από την πλευρά του έξυπνου ενεργειακού προφίλ ((Smart Energy Profile, (SEP)), ως ένα από τα πρότυπα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ του οικιακού χρήστη και του έξυπνου δικτύου.

Ωστόσο λόγω της περιορισμένης εμβέλειας μετάδοσης που το χαρακτηρίζει, θα πρέπει να είναι εφικτή η σύνδεση και με τεχνολογίες επικοινωνίας μεγαλύτερης εμβέλειας, όπως π.χ. αποτελεί το πρότυπο επικοινωνίας IEEE802.11 και χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή σύνδεσης από άκρο σε άκρο σε όλο το έξυπνο δίκτυο. Η προδιαγραφή του πρωτοκόλλου ZigBee, προσδιορίζει τρία είδη συσκευών που ενσωματώνουν ZigBee ραδιοφωνία και βρίσκονται σε έναν τυπικό συντονιστή δικτύου ZigBee, ο οποίος οργανώνει το δίκτυο και διατηρεί τους δρομολογητές του πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος θα μπορεί να επικοινωνεί με τον συντονιστή αλλά και με άλλους δρομολογητές καθώς επίσης και να μειώνει τις συσκευές τελικής λειτουργίας, αλλά και τις συσκευές

που θα μπορούν να επικοινωνήσουν με τους δρομολογητές και τον συντονιστή αντίστοιχα (Ghatage et al., 2013).

Οι συσκευές που υποστηρίζουν λειτουργίες μέσω χρήσης του πρωτοκόλλου Zigbee είναι ιδανικές για εφαρμογές που σχετίζονται τόσο με το έξυπνο δίκτυο όσο και με τον αυτοματισμό των κτιρίων και αυτό επειδή είναι ασύρματες και χαμηλού κόστους. Οι ασύρματοι κόμβοι από την άλλη πλευρά παρέχουν ευελιξία, εύκολη αναδιάταξη αλλά και επαναπροσδιορισμό. (Ghatage et al., 2013).

Το πρωτόκολλο Zigbee ενσωματώνεται εύκολα σε διακόπτες φωτισμού, σε αισθητήρες θερμοκρασίας και σε ανιχνευτές καπνού όπου επιτρέπει την μέτρηση και τον έλεγχο όλων των φορτίων του κτιρίου. Η χαμηλή κατανάλωση της ενέργειας του πρωτοκόλλου Zigbee, επιτυγχάνεται μέσω ενός πολύ χαμηλού κύκλου λειτουργίας του συστήματος, με τυπικούς κόμβους Zigbee και με κύκλους λειτουργίας κάτω του 5%, που έχει ως αποτέλεσμα την εξασφάλιση σημαντικής εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και μεγαλύτερης άνεσης για τους κατοίκους του κτιρίου. Ο Πίνακας 1 αποτυπώνει τα επίπεδα λειτουργίας ραδιοσυχνότητας του πρωτοκόλλου Zigbee.

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά ραδιοσυχνοτήτων λειτουργίας του πρωτοκόλλου Zigbee.

Frequency	Region	Modulation scheme	Bit rate (kbps)	Channels	Channel spacing
868 MHz	Europe	BPSK	20	1	N/A
915 MHz	America and Asia	BPSK	40	10	2 MHz
2.4 GHz	Global	O-QPSK	250	16	5 MHz

Source: (Yi et al., 2011).

### 4.3 Σχεδίαση και ανάπτυξη έξυπνου μετρητή με βάση το πρωτόκολλο ZigBee

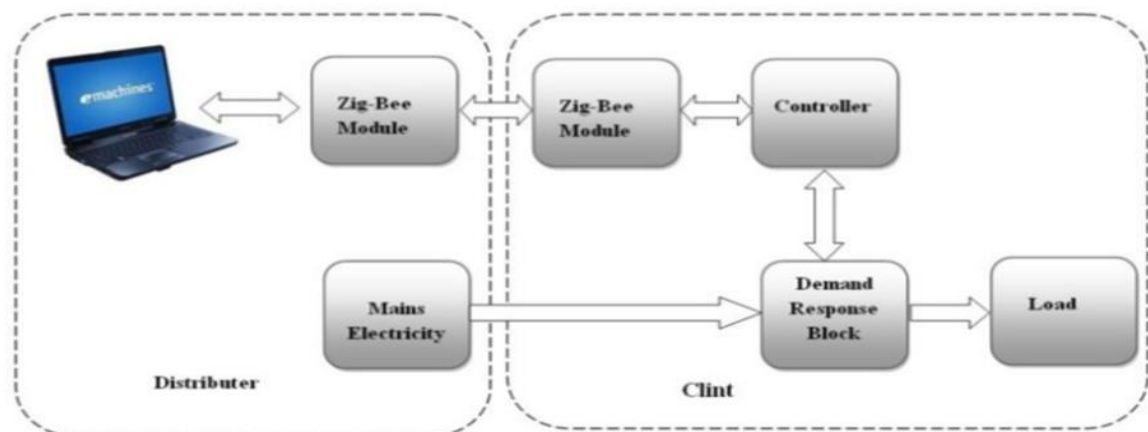
Στην συγκεκριμένη έρευνα εφαρμόζεται επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου μετρητή και του πρωτοκόλλου Zigbee και γίνεται αναφορά για την εύρεση λύσης που αφορά το υλικό για το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Για το κομμάτι υλοποίησης που αφορά το υλικό, απαιτείται η χρήση ενός πομπού και ενός δέκτη ZigBee, ο οποίος θα επικοινωνεί και θα ελέγχεται από έναν μικροελεγκτή ((Programmable Interface Controller, (PIC)). Ο μικροελεγκτής ((Programmable Interface Controller, (PIC)), χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο των τελικών συσκευών

χρησιμοποιώντας κύκλωμα μεταγωγής ή αλλιώς αλλαγής διεύθυνσης. Η αρχική βάση δεδομένων ((Visual Basic, (VB)), καθώς και η Microsoft SQL βάση δεδομένων, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των δεδομένων που αφορούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των εμπλεκόμενων τελικών συσκευών ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ο έξυπνος μετρητής αποτελείται βασικά από την μονάδα πομπού και την μονάδα δέκτη. Εδώ η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της μονάδας πομπού και δέκτη επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του πρωτόκολλου ZigBee. Τα πρωτόκολλα ZigBee και το IEEE 802.15.4, αποτελούν πρωτόκολλα που βασίζονται σε πρότυπα τα οποία παρέχουν την υποδομή του δικτύου που απαιτείται για δικτυακές εφαρμογές έξυπνης μέτρησης. Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 ορίζει το φυσικό στρώμα και το στρώμα ((Media Access Control, (MAC) του δικτύου, ενώ αντίστοιχα το πρωτόκολλο ZigBee ορίζει το στρώμα δικτύου και το στρώμα εφαρμογής του δικτύου. (Liu, 2009; Zigbee & IEEE 802.15.4 protocol, 2013).

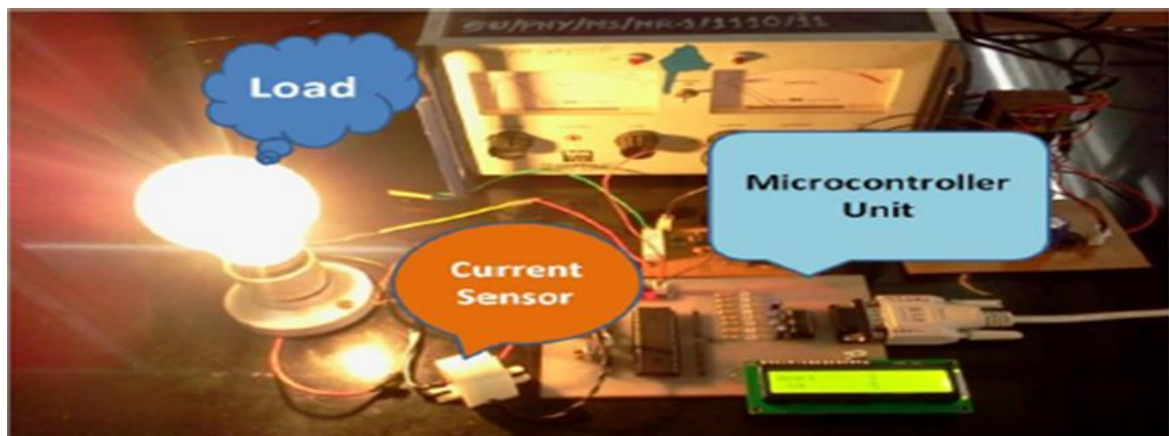
Η έξυπνη μέτρηση από την άλλη πλευρά αποσκοπεί σε βελτίωση της απόδοσης λειτουργίας του κλασικού συμβατικού δικτύου. Το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), θα προνοήσει για τις ενδεχόμενες καταστάσεις περιόδων κατά των οποίων θα εμφανίζονται αιχμές της ζήτησης για ενέργεια αλλά και για την σωστή χρησιμότητα της. Επίσης συμβάλει στην βελτίωση της ποιότητας αλλά και του συντονισμού μεταξύ του προμηθευτή και των καταναλωτών (Ghatage et al., 2013). Στην συνέχεια γίνεται αναφορά για δύο βασικές απαιτήσεις σχεδίασης που αφορούν τους έξυπνους μετρητές βάσει της αναφοράς του (Ghatage et al., 2013).

1. Στην πρώτη περίπτωση η σχεδίαση των έξυπνων μετρητών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να λειτουργήσουν με χαμηλή ενέργεια, ούτως ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις παρατεταμένες περιόδους όπου η ισχύς θα είναι ανάλογη με την ισχύ μιας μπαταρίας.
2. Στην δεύτερη περίπτωση η σχεδίαση των έξυπνων μετρητών θα πρέπει να είναι τέτοια ούτως ώστε να περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά ασφάλειας τα οποία θα μπορούν να προστατεύσουν το περιεχόμενο των επικοινωνιών αλλά και της ασφάλειας των αποθηκευμένων δεδομένων (Ghatage et al., 2013). Το Σχήμα 4.3.1. δείχνει το βασικό διάγραμμα των συνιστωσών που απαρτίζουν έναν έξυπνο μετρητή μέσω χρήσης του πρωτόκολλου επικοινωνίας ZigBee.



Σχήμα 4.3.1 Βασικό διάγραμμα συνιστωσών έξυπνου μετρητή μέσω χρήσης πρωτοκόλλου ZigBee κατά τους (Ghatage et al., 2013).

Επίσης το Σχήμα 4.3.2 αναδεικνύει τον πραγματικό χρόνο μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας κάνοντας χρήση ενός μικροελεγκτή Programmable Interface Controllers (PIC).

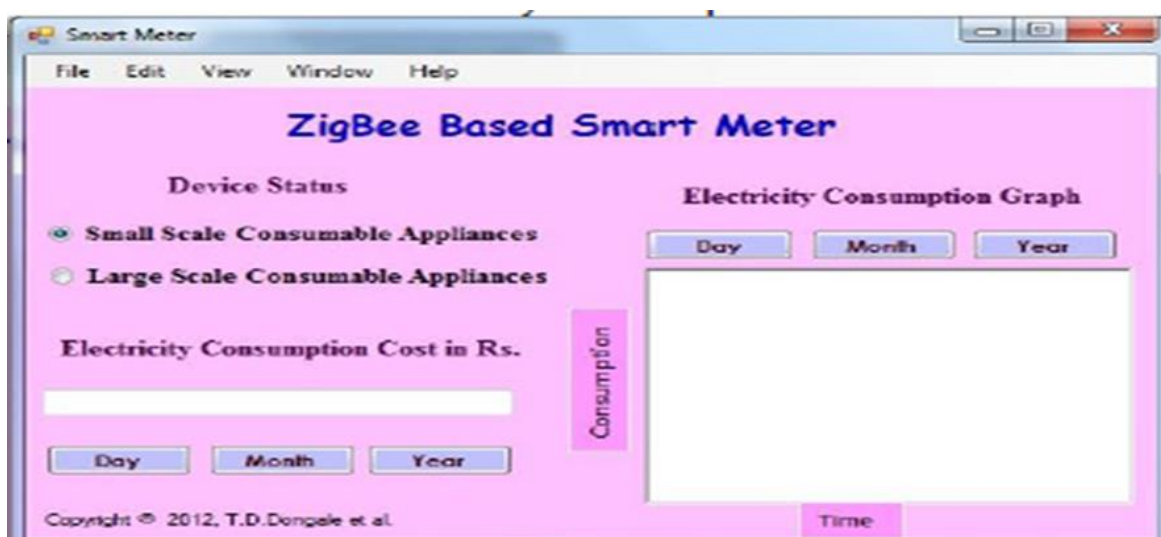


Σχήμα 4.3.2 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο με χρήση Μικροελεγκτή PIC. (Ghatage et al., 2013).

Γενικά ο έξυπνος μετρητής αποτελείται από τρία μέρη: α) Μια ηλεκτρονική μονάδα μέτρησης, β) μια μονάδα επικοινωνίας και γ) μια μονάδα μεταγωγής της τελικής συσκευής. Εδώ ο ZigBee πομπός και δέκτης χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ του καταναλωτή και του παρόχου της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην συγκεκριμένη έρευνα, αποδεικνύεται ότι η παροχή ενέργειας αποτελεί μια φάση ελέγχου των τελικών συσκευών. Η παροχή ρεύματος συνδέεται με το κύκλωμα των διακοπών. Το κύκλωμα μεταγωγής καθορίζει την λειτουργία του φορτίου στην κορυφή

της παροχής έτσι ώστε οι τερματικές συσκευές να διαθέτουν την έξυπνη ικανότητα στην λειτουργία τους. Ο μικροελεγκτής (PIC 16F877A), χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του κυκλώματος μεταγωγής καθώς και για τον έλεγχο της μονάδας πομπού και δέκτη. Το ((Graphical User Interface, (GUI)), front-end χρησιμοποιείται για την συλλογή δεδομένων και εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα τόσο της αρχικής βάσης δεδομένων ((Visual Basic, (VB)), όσο και της Microsoft SQL βάσης δεδομένων. Αυτό εφαρμόζεται για την αποθήκευση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών συσκευών σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η γραφική απεικόνιση του ((Graphical User Interface, (GUI)) front-end του έξυπνου μετρητή αναδεικνύεται στο Σχήμα 4.3.3. (Kulkarni et al., 2013; Ghatage et al., 2013).

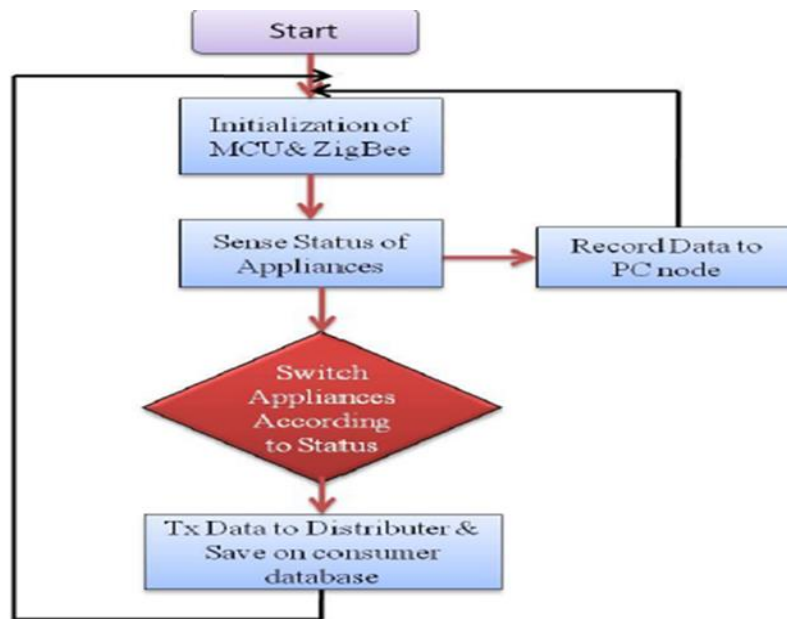


Σχήμα 4.3.3 Graphical User Interface (GUI) front-end έξυπνου μετρητή, καταγραφής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τους (Kulkarni et al., 2013; Ghatage et al., 2013).

Οι αισθητήρες ρεύματος που χρησιμοποιούνται έχουν ως σκοπό την ανίχνευση της ηλεκτρονικής κατάστασης των συσκευών, δίνοντας έμφαση στην τάση και το ρεύμα καθώς επίσης παρέχουν δεδομένα στον μικροελεγκτή για περαιτέρω έλεγχο. Ο μικροελεγκτής στην συνέχεια θα διαχειριστεί αυτά τα δεδομένα και θα υπολογίσει την τρέχουσα κατάσταση χρήσης των συσκευών. Μετά από αυτό τον σύντομο χειρισμό ο μικροελεγκτής θα στείλει αυτά τα δεδομένα στον κόμβο του υπολογιστή όπου και θα διεξαχθεί περαιτέρω ανάλυση αυτών των δεδομένων μέσω χρήσης κατάλληλων αλγόριθμων. Το ((Graphical User Interface, (GUI)) front-end, θα διαχειριστεί αυτά τα

δεδομένα στη βάση δεδομένων τους. Στην συνέχεια κατόπιν εκτεταμένου υπολογισμού ο μικροελεγκτής θα μεταφέρει αυτά τα δεδομένα μέσω του πομπού ZigBee στη βάση διανομής δεδομένων, όπου και θα αποθηκεύονται τα δεδομένα σε μονάδα διαστήματος του χρόνου.

Στην συνέχεια το Σχήμα 4.3.4 αποτυπώνει το διάγραμμα ροής του συστήματος του έξυπνου μετρητή με χρήση πρωτοκόλλου ZigBee.



Σχήμα 4.3.4 Διάγραμμα ροής συστήματος του έξυπνου μετρητή με χρήση πρωτοκόλλου ZigBee (Ghatage et al., 2013).

Στο σύστημα ροής που αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.3.4. το κύκλωμα μεταγωγής θα φροντίσει για τη μέγιστη ζήτηση των συσκευών. Όταν θα γίνεται αναφορά στην αιχμή της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας τότε το κύκλωμα διακοπής θα διακόπτει αυτόματα το δίκτυο από τις συσκευές. Αυτή η ροή εργασιών θα διαχειριστεί την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), για ηλεκτρική ενέργεια μέσω χρήσης ενός έξυπνου μετρητή αλλά και της δυνατότητας που προσφέρει η ZigBee επικοινωνία. Αναμφισβήτητα κάνοντας χρήση τόσο του σωστού αλγόριθμου όσο και των κατάλληλων υποστηρικτικών πόρων ο έξυπνος μετρητής θα αποτελεί ως την μοναδική λύση για το εξυπνότερο δίκτυο του επόμενου αιώνα στον πλανήτη (Ghatage et al., 2013).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

#### 5.1 Έξυπνα και (ZEBs) μηδενικά κτίρια ενέργειας

Κατά τους Fakosh και Ahmed, (2012) τα κτίρια καταναλώνουν περίπου το 30% της ενέργειας, επομένως είναι απαραίτητο τα ήδη υπάρχοντα αλλά κυρίως τα νέα κτίρια να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα, ώστε να επιτυγχάνουν μειώσεις σε σχέση με την κατανάλωση της ενέργειας. Για αυτόν το λόγο τα λεγόμενα έξυπνα κτίρια, θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν σύγχρονες υποδομές που θα ακολουθούν τις τεχνολογικές εξελίξεις της εποχής, με κύριο στόχο την μείωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, παρέχοντας παράλληλα δυνατότητες όπως αυτό της ασφάλειας, της άνεσης, του κεντρικού ελέγχου κ.α. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με την χρήση εφαρμογών που έχουν ως στόχο την ορθολογική χρήση της ενέργειας η οποία μπορεί να προέρχεται είτε από την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο χώρο, είτε από παθητικές στρατηγικές, αλλά είτε και τέλος από την χρήση νέων αποτελεσματικών συστημάτων.

Με λίγα λόγια τα έξυπνα κτίρια θα συμπεριλάβουν όλες τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις τόσο του κατασκευαστικού τομέα όσο και του τομέα ενέργειας, με σκοπό να επιτύχουν στόχους όπως είναι η βιωσιμότητα, η ενεργειακή απόδοση, καθώς και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Σύμφωνα με τον Darwish, (2020) παρουσιάστηκαν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για τον ορισμό των έξυπνων κτιρίων:

1. Η πρώτη αναφέρεται στην προσέγγιση βάσει των υπηρεσιών: Εδώ γίνεται αναφορά στην ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν τα κτίρια όπως είναι: Οι ευφυείς λειτουργίες, οι επικοινωνίες και οι αυτοματισμοί.
2. Η δεύτερη αναφέρεται στην προσέγγιση βάσει της απόδοσης: Εδώ γίνεται αναφορά στις μεθόδους που ακολουθούνται κατά το στάδιο υλοποίησης του κτιρίου, το οποίο θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες του κάθε περιβάλλοντος και στις απαιτήσεις των χρηστών, δίνοντας πάντα έμφαση στην αποδοτική χρήση και κατανομή των πόρων, σύμφωνα πάντα με τα διεθνή πρότυπα και μέτρα.
3. Η τρίτη αναφέρεται στην προσέγγιση βάσει του συστήματος: Εδώ γίνεται αναφορά σε όλες τις διαθέσιμες υψηλές τεχνολογίες που ενσωματώνονται κατά τα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής του κτιρίου (Darwish, 2020).

Ένα έξυπνο κτίριο πλαισιώνεται από διάφορα ενεργειακά στοιχεία, μερικά από αυτά περιλαμβάνουν:

- Έξυπνο σύστημα φωτισμού.
- Αυξημένη είσοδος φωτός την ημέρα.
- Εξισορρόπηση φορτίου και παραγωγής.
- Σύστημα ((Building Automation System, (BAS)), δηλαδή σύστημα διαχείρισης του κτιρίου.
- Σύστημα ((Building Energy Management System, (BEMS)), δηλαδή σύστημα ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου.
- Αποθήκευση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- Πρακτικές ενεργειακής απόδοσης όπως είναι π.χ. Οι ενεργές και παθητικές τεχνικές θέρμανσης και ψύξης, η μόνωση, τα τζάμια, η σκίαση, τα κίνητρα τιμολόγησης κ.α. (Darwish, 2020).

Όλες αυτές οι έξυπνες εφαρμογές θα μπορούν να συνδυαστούν με τις διάφορες κλιματικές συνθήκες των περιοχών, επικεντρώνοντας σε στοιχεία όπως είναι το φως της ημέρας ή ο φυσικός αερισμός, που σκοπό έχουν την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας μέσω χρήσης ενός ειδικού συστήματος φωτισμού αλλά και ενός συστήματος εξαερισμού και κλιματισμού ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC))).

Επίσης αναφορά γίνεται και για τα λεγόμενα κτίρια ((Zero Energy Buildings, (ZEBs)), όπου σύμφωνα με την ((Energy Performance of Buildings Directive, (EPBD, 2010/31/EC)), δηλαδή την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, εισήχθη ο ορισμός των λεγόμενων κτιρίων ((Zero Energy Buildings, (ZEBs)), τα οποία θα αποτελέσουν τα σύγχρονα κτίρια του μέλλοντος καθώς παρουσιάζουν πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, όπου η σχεδόν μηδενική ή αλλιώς η πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να καλύπτεται εκτενώς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι θα είναι σε θέση πέραν από τις μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις που θα έχουν, να μπορούν να παράγουν παράλληλα και μέρος της ποσότητας της ενέργειας που καταναλώνουν από την χρήση των (ΑΠΕ), δίνοντας έτσι την δυνατότητα με αυτόν τον τρόπο την χρήση αυτής της παραγόμενης ενέργειας είτε για προσωπικό όφελος, είτε για πώληση της, διοχετεύοντας την στο υπάρχον κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή τους



έχει παρατηρηθεί από το 2018 σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε δημόσια κτίρια, ενώ από το 2020 έχει εφαρμοστεί και σε άλλου είδους κτίρια (Kokolokosta, 2015).

## 5.2 Κτιριακοί αυτοματισμοί

Με βάσει τα όσο έχουν ειπωθεί προηγουμένως σε σχέση πάντα με τα έξυπνα κτίρια και συγκεκριμένα αναφερόμαστε στις αλλαγές που προκύπτουν τόσο στο στάδιο κατασκευής όσο και στο στάδιο λειτουργίας και συντήρησης, έρχεται στο επίκεντρο και το θέμα των αυτοματισμών, οι οποίοι αποτελούν μια τεχνολογική εξέλιξη της σύγχρονης εποχής η οποία πλέον είναι ευρέως γνωστή και παρατηρείται όλο και πιο συχνά στα διάφορα κτίρια. Αντιλαμβανόμαστε έτσι ότι οδηγούμαστε πλέον σε μια εποχή όπου αρχίζουμε να αναφερόμαστε σε ευφυή συστήματα. Οι αυτοματισμοί θεωρούνται μια καινοτόμα τεχνολογία η οποία είναι ικανή να προσφέρει λύσεις για την ενεργειακή διαχείριση των κτιρίων διατηρώντας παράλληλα τόσο το στοιχείο της ασφάλειας όσο και αυτό της άνεσης. Τέτοια περίπτωση αποτελούν τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης των κτιρίων ((Building Energy Management System, (BEMS)), αλλά και τα συστήματα διαχείρισης λειτουργίας των κτιρίων ((Building Automation System, (BAS)) (Darwish, 2020).

Καθοριστικό σημείο σε ότι έχει σχέση με τους αυτοματισμούς αποτελεί η χρήση της τεχνολογίας της πληροφορίας, ((Information Technology, (IT)), όπου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική λειτουργία αλλά και την διαχείριση ενός κτιρίου. Ένα άλλο στοιχείο των αυτοματισμών των κτιρίων, αναφέρεται στην συμβολή τους για την επίτευξη της σύνδεσης μεταξύ των έξυπνων κτιρίων και δικτύων, επίσης προσφέρουν την δυνατότητα σύνδεσης και με άλλες εξωτερικές εφαρμογές όπως είναι το (cloud computing), το οποίο αφορά μεγάλα κέντρα δεδομένων, τα οποία προσφέρουν φθηνότερη υπολογιστική ισχύ και κυρίως δίνουν την ευελιξία στον χρήστη να πληρώνει μόνο για όσο χρησιμοποιεί κάτι. Η έννοια του αυτοματισμού μπορεί να ακούγεται εύκολη αλλά για να επιτευχθεί η όποια εγκατάσταση αυτοματισμών, θα πρέπει οι νέοι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν να είναι εφοδιασμένοι με την απαραίτητη ευφυή τεχνολογία για να μπορέσουν να παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες στον χρήστη. Αυτή η επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων συνήθως είναι ασύρματη (Yi et al., 2011).

Επιπλέον λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα συστήματα των κτιρίων είναι επιθυμητό να υπάρξει ένα σύνθετο μοντέλο συστήματος δεδομένων το οποίο να είναι σε θέση και συμβαδίζει με τα υπόλοιπα συστήματα των άλλων κλάδων. Με αυτόν τον τρόπο δεδομένα που μπορεί να προέρχονται από πολλές πηγές καλό είναι να μπορούν να είναι προσπελάσιμα μόνο από τις αντίστοιχες εμπλεκόμενες συσκευές. Για παράδειγμα στο μοντέλο συλλογής πληροφοριών ((Building Information Modeling, (BIM)), τα δεδομένα του προέρχονται από το στάδιο υλοποίησης ενός κτιρίου, προσφέροντας την δυνατότητα της ψηφιακής ανταλλαγής πληροφοριών, οι οποίες βέβαια σχετίζονται με τις φυσικές και λειτουργικές ιδιότητες ενός κτιρίου. Το μοντέλο ((Building Information Modeling, (BIM)), βρίσκει απήχηση σε μελέτες που έχουν να κάνουν με τα κτίρια και στο γενικό σύνολο με πληροφορίες που αφορούν την δόμηση ενός κτιρίου (Bruckner et al., 2012).

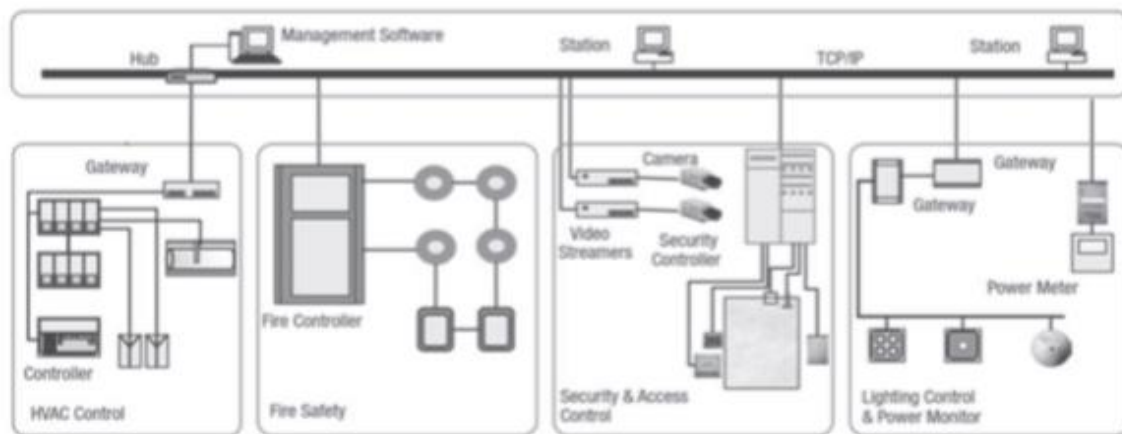
Κύριο πλεονέκτημα από την χρήση των αυτοματισμών αποτελεί η μείωση στην κατανάλωση χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σαφώς με την σειρά της συμβάλει και σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, προσφέροντας παράλληλα και μια πληθώρα επιλογών που δίνονται στους χρήστες για να κάνουν την ζωή τους πιο εύκολη.

Οι αυτοματισμοί αποτελούνται από ευφυή συστήματα και υπηρεσίες μερικά εκ των οποίων είναι:

1. Το σύστημα ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC)), το οποίο αναφέρεται στον εξαερισμό και κλιματισμό του κτιρίου.
2. Το σύστημα ((Closed-Circuit Television System, (CCTV)), το οποίο αναφέρεται στην παρακολούθηση των χώρων του κτιρίου μέσω χρήσης καμερών.
3. Το σύστημα επικοινωνίας μέσω φωνής και δεδομένων βίντεο.
4. Το σύστημα ((Security Access Control, (SAC)), το οποίο αναφέρεται στην ασφάλεια & στον έλεγχο πρόσβασης στο κτίριο, όπου μέσω χρήσης ενός εξελιγμένου λογισμικού θα μπορούν να εξυπηρετούν μια γκάμα εφαρμογών οι οποίες θα σχετίζονται με την επιλεγμένη πρόσβαση σε χώρους.
5. Το σύστημα ((Fire Safety, (FS)), το οποίο αναφέρεται στον έλεγχο πυρασφάλειας του κτιρίου, όπου εδώ παρατηρείται η χρήση ειδικών αισθητήρων θερμότητας και πυκνότητας καπνού με δυνατότητα απευθείας ειδοποίησης της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

6. Το σύστημα φωτισμού LIGHTING, το οποίο αναφέρεται στον έλεγχο φωτισμού του κτιρίου με δυνατότητα χρήσης π.χ. είτε χρονοδιακόπτη, είτε αισθητήρα κίνησης.
7. Το σύστημα ((Building Management System, (BMS)), το οποίο αναφέρεται στην διαχείριση συστημάτων του κτιρίου όπως είναι το σύστημα θέρμανσης, το σύστημα εξαερισμού & κλιματισμού, το σύστημα φωτισμού κ.α. συστημάτων ενός του κτιρίου.
8. Το σύστημα ((Building Energy Management System, (BEMS)), το οποίο αναφέρεται στην συνολική ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου. (Darwish, 2020).

Το Σχήμα 5.1 αναδεικνύει ένα ολοκληρωμένο ευφυές σύστημα κτιριακού αυτοματισμού το οποίο περιλαμβάνει: Συστήματα & υπηρεσίες υψηλής απόδοσης σαν αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 5.1 Ολοκληρωμένο ευφυές σύστημα αυτοματισμού κτιρίου (Darwish, 2020).

Στην συνέχεια γίνεται μια τυπική αναφορά στα κύρια συστήματα ελέγχου και επικοινωνίας μεταξύ των συστημάτων αυτοματισμών τα οποία αποτελούνται από:

1. Ψηφιακούς ελεγκτές όπου περιλαμβάνουν: Υπολογιστές, Επεξεργαστές, Ψηφιακούς ελεγκτές, Ενεργοποιητές.
2. Κτιριακούς αυτοματισμούς που περιλαμβάνουν: Προγραμματισμό & Παρακολούθηση.
3. Συστήματα αυτοματισμών όπου περιλαμβάνουν: Αυτοματοποιημένη διαδικασία λειτουργιών κτιριακής διαχείρισης του κτιρίου π.χ. σύστημα φωτισμού.
4. Τοπική περιοχή δικτύου όπου περιλαμβάνει: Ασύρματη & τοπική τεχνολογία δικτύου.
5. Κτιριακούς αυτοματισμούς και πρότυπα συστήματα επικοινωνίας όπου περιλαμβάνουν: Ενσωμάτωση και διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων

αυτοματισμών των κτιρίων ((Building Automation System, (BAS)), πρότυπα επικοινωνίας μεταξύ των δικτύων, ((Building Automation and Control networks, (BACnet)) και των κτιριακών αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)), (Lon Works) τοπικά λειτουργικά δίκτυα, (Modbus) δηλαδή σειριακή επικοινωνία πρωτοκόλλου, ((PROFIBUS, (Process Field Bus)), δηλαδή διαδικασία πεδίου διαύλου, όπου ορίζεται ως το πρότυπο επικοινωνίας του πεδίου διαύλου στην τεχνολογία των αυτοματισμών, η Ευρωπαϊκή εγκατάσταση διαύλου, ((European Installation Bus, (EIB)), όπου ορίζεται ως το πεδίο διαύλου που βελτιώνει την ηλεκτρική εγκατάσταση στα σπίτια και διαδικτυακά πρωτόκολλα.

6. Τεχνολογίες διαδικτύου όπου περιλαμβάνουν: Τοπικά διαδίκτυα ((Local Area Network, (LAN)) & ευρείας περιοχής ((Wide Area Network, (WAN)), τεχνολογίες διαδικτύου σε επίπεδο αυτοματισμού και τεχνολογίες διαδικτύου σε επίπεδο διαχείρισης. (Darwish, 2020).

### **5.3 Οικιακά δίκτυα διαχείρισης της ενέργειας & οικιακής χρήσης (HEM, HAN)**

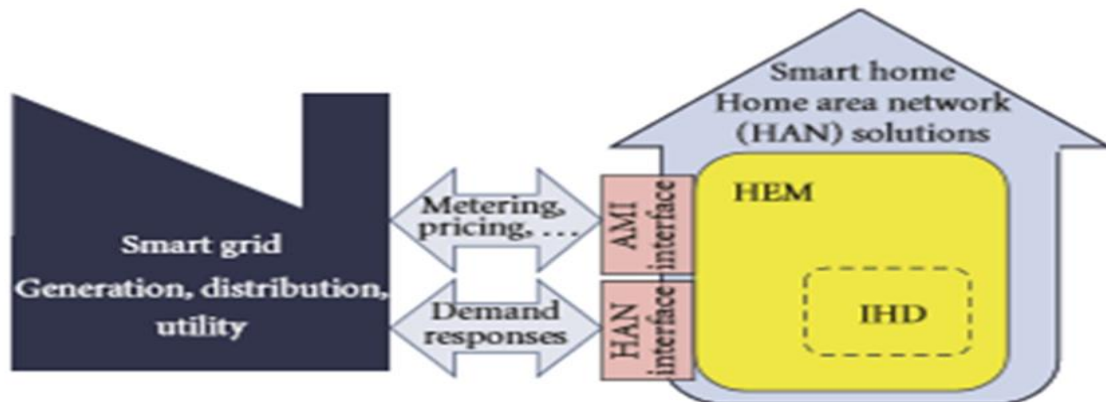
Ο όρος οικιακά δίκτυα ((Home Area Network, (HANs)), χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει όλες τις πληροφορίες αλλά και τις δραστηριότητες που εμφανίζονται στα συστήματα διαχείρισης της οικιακής ενέργειας ((Home Energy Management, (HEM)). Τα οικιακά δίκτυα ((Home Area Network, (HANs)), αποτελούν μια επέκταση του πλαισίου των έξυπνων δικτύων αλλά και των επικοινωνιών όπως συμβαίνει και στα οικιακά τοπικά δίκτυα ((Local Area Network, (LAN)), τα οποία βέβαια εφαρμόζονται μέσα στα πλαίσια μιας κατοικίας. Ένα δίκτυο ((Home Area Network, (HAN)), σε αντίθεση πάντα με ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από διακομιστές (servers), εκτυπωτές, αντιγραφικά και υπολογιστές, συνδέει συσκευές οι οποίες είναι ικανές να στέλνουν και να λαμβάνουν σήματα από έναν έξυπνο μετρητή ή ακόμα και να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές συστημάτων οικιακής διαχείρισης των κτιρίων ((Home Energy Management, (HEM)). Επίσης μέσω της δυνατότητας σύνδεσης είτε αυτή πρόκειται για ενσύρματη, είτε για ασύρματη επικοινωνία, υπάρχουν συναλλαγές που σχετίζονται με την κατανάλωση της ενέργειας, την ευαισθησία στις παρεμβολές αλλά και την ασφάλεια.

Το σημαντικό σημείο με τα οικιακά δίκτυα ((Home Area Network, (HAN)), είναι ότι δεν αποτελούν εφαρμογές διαχείρισης της ενέργειας αλλά αντίθετα επιτρέπουν στις

εφαρμογές διαχείρισης της ενέργειας να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις συσκευές που είναι ενσωματωμένες στο οικιακό δίκτυο (Kailas et al., 2012).

Στα οικιακά δίκτυα ((Home Area Network, (HAN)), εμφανίζονται περιορισμένες δυνατότητες εισαγωγής και εμφάνισης δεδομένων, οι οθόνες (displays) μέσα σε ένα σπίτι λειτουργούν ως μια οπτική ένδειξη των ρυθμών της ηλεκτρικής ενέργειας σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Επίσης οι συσκευές απεικόνισης είναι μονόδρομης επικοινωνίας, πράγμα που σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί μόνο να παρακολουθεί αλλά όχι να λαμβάνει ενέργειες σε πραγματικό χρόνο και να παρέχει ανατροφοδότηση στο σύστημα, όπως αντίθετα εφαρμόζουν τα συστήματα ((Home Energy Management, (HEM)). Επομένως τα συστήματα ((Home Area Network, (HAN)), εξακολουθούν να χρειάζονται μια επιπλέον εφαρμογή με σκοπό την ενεργειακή διαχείριση όπως γίνεται στην περίπτωση των συστημάτων ((Home Energy Management, (HEM)), προκειμένου να μπορέσουν να προκύψουν τα μέγιστα οφέλη που παρουσιάζουν τα έξυπνα δίκτυα.

Μια δικτυακή πύλη που αναφέρεται σε ένα σύστημα ((Home Energy Management, (HEM)), αποτελεί την καλύτερη διασύνδεση με τα προγράμματα που αναφέρονται τόσο στην χρέωση των χρηστών όσο και στην ανταπόκριση στην ζήτηση για ενέργεια ((Demand Response, (DR)), διότι έτσι επιτρέπει την ευκολότερη εκτέλεση αλλά και τον έλεγχο των ευφυών συσκευών που μπορούν να ενσωματωθούν σε τέτοια προγράμματα. Μια λύση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου ((Home Energy Management, (HEM)), θα επέτρεπε στον χρήστη είτε να ανακαλέσει τις βελτιστοποιημένες ρυθμίσεις που σχετίζονται με την βιώσιμη εξοικονόμηση ενέργειας, είτε να εφαρμόσει προτάσεις για βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας, είτε τέλος να δει και πώς γίνεται η σύγκριση της ενεργειακής διαχείρισης μεταξύ άλλων ομότιμων ή άλλων ομάδων εντός των ορίων της γειτονιάς τους. Μια βασική αναπαράσταση μιας έξυπνης διασύνδεσης μεταξύ του έξυπνου δικτύου και μιας έξυπνης οικιακής διασύνδεσης η οποία χρησιμοποιεί μια ποικιλία διαφορετικών τοπολογιών δικτύωσης μεταξύ των διαφόρων τομέων και υποτομέων απεικονίζεται στο Σχήμα 5.3.1, όπου εδώ στο συγκεκριμένο σημείο η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης των κατοικιών ((Home Energy Management, (HEM)), αλλά και στις τεχνολογίες των οικιακών δικτύων ((Home Area Network, (HAN)) (Kailas, et al., 2012).



Σχήμα 5.3.1: Υλοποίηση επικοινωνίας μεταξύ έξυπνων δικτύων και σπιτιών (Kailas et al., 2012).

#### 5.4 Πλεονεκτήματα των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης των κατοικιών (HEM)

- Ελαχιστοποιούν την άσκοπη κατανάλωση της ενέργειας. Το σύστημα αυτοματισμού αλλά και η δυνατότητα παρακολούθησης της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο στα σπίτια, καθιστούν εφικτή την εξοικονόμηση ενέργειας. Παράδειγμα αποτελεί ο έλεγχος του φωτισμού, όπου εδώ δεν γίνεται αναφορά στην μείωση του φωτός αλλά επικεντρώνεται στην διευκόλυνση της κατάλληλης ποσότητας φωτός όταν και όπου απαιτείται, μειώνοντας έτσι παράλληλα την σπατάλη ενέργειας.
- Είναι οικολογικά. Με βάση την κατάσταση της κλιματικής αλλαγής η οποία έχει αρχίσει να γίνεται ολοένα και πιο ανησυχητική, η ενεργειακή αποδοτικότητα έχει καταστεί ως η πρώτη προτεραιότητα τόσο στα σπίτια όσο και στις επιχειρήσεις. Όταν γίνεται αναφορά σε ένα πράσινο σπίτι η ενεργειακή αποδοτικότητα περιλαμβάνει κάθε πτυχή που αφορά την κατανάλωση της ενέργειας από την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και το ύψος των λαμπτήρων. Η μείωση της καταναλώμενης ενέργειας απαιτεί μια μακροπρόθεσμη αλλαγή συμπεριφοράς, θέτοντας ως πρωταρχικό βήμα την διερεύνηση του σημερινού ποσοστού του άνθρακα που παρεμβάλλεται στα κτίρια. Τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κατοικιών ((Home Energy Management, (HEM)), συμμετέχουν σε αυτήν την αλλαγή βοηθώντας τον χρήστη να παρακολουθεί την χρήση π.χ. της θερμότητας, του φωτισμού και γενικά την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα σπίτια υποβάλλοντας παράλληλα προτάσεις για τον τρόπο μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>.

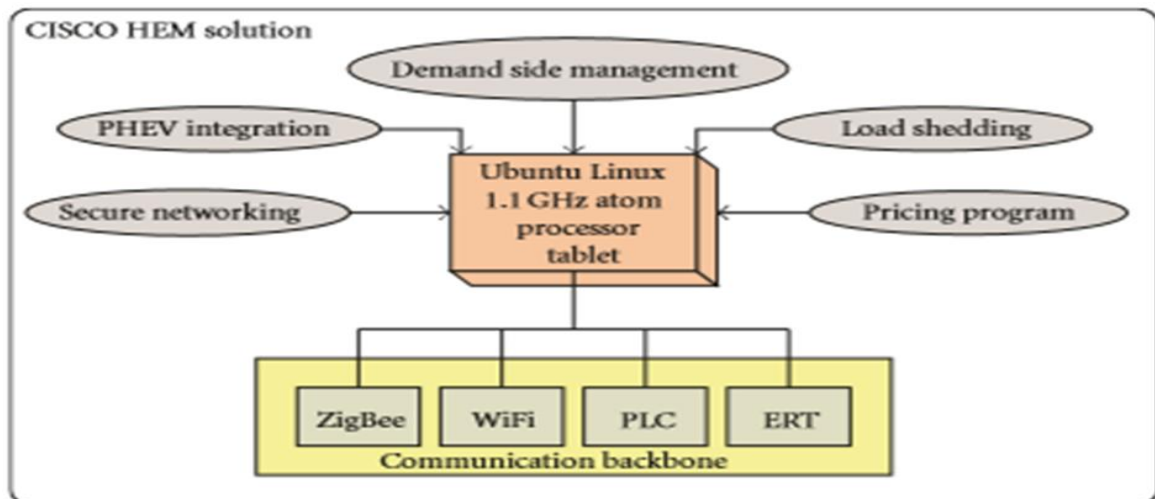
- Προσφέρουν ευημερία στις κατοικίες. Σύμφωνα με την μέση ετήσια δαπάνη που εμφανίζει μια οικογένεια τόσο για την παροχή φυσικού αερίου όσο και για την ηλεκτρική ενέργεια, έχει ασφαλώς νόημα να εφαρμόζεται ότι είναι δυνατόν για την μείωση των λογαριασμών της οικιακής χρήσης. Έτσι τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κατοικιών ((Home Energy Management, (HEM))), αποτελούν μια καλή λύση η οποία αποσκοπεί και μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση αυξάνοντας παράλληλα και το διαθέσιμο κεφάλαιο (Kailas et al., 2012).

Συνοπτικά μπορεί να επισημανθεί πως τα συστήματα ((Home Energy Management, (HEM))), αποτελούν ένα πιο εξελιγμένο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, το οποίο προσφέρει ακόμη πιο φιλικές προς το περιβάλλον επιδόσεις μέσω της χρήσης της τεχνολογίας των αισθητήρων. Βάσει του προηγούμενου σχολίου τα συστήματα ((Home Energy Management, (HEM))), επιτρέπουν λειτουργίες όπως π.χ. είναι η παρακολούθηση της ενέργειας, η αυτοματοποίηση των συσκευών καθώς και η ρύθμιση των παραμέτρων που αφορούν το σύστημα ελέγχου ώστε να ανταποκρίνονται στα επίπεδα απόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) (Kailas et al., 2012).

### **5.5 Στοιχεία που πλαισιώνουν τα συστήματα διαχείρισης χρήσης της οικιακής ενέργειας (HEM)**

Η διείσδυση των συστημάτων διαχείρισης χρήσης της οικιακής ενέργειας ((Home Energy Management, (HEM))), στα λεγόμενα έξυπνα σπίτια οδήγησε τον Ιούνιο του 2010 την εταιρεία Cisco Systems να παρουσιάσει τον οικιακό ελεγκτή-διαχειριστή ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC))), ο οποίος αποτελεί μέρος μιας πολύ μεγαλύτερης υποδομής του έξυπνου δικτύου ((Smart Grid, (SG))), που μπορεί να προσφέρει λύσεις σχετικά με τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, τα δίκτυα των υποσταθμών, τα δίκτυα έξυπνων μετρητών καθώς και τα οικιακά δίκτυα. Ο οικιακός ελεγκτής ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC))), διαθέτει μια δισκέτα διεπαφής χρήστη 7 ιντσών, η οποία τρέχει σε λειτουργικό σύστημα εργασίας (Ubuntu Linux), και λειτουργεί με έναν επεξεργαστή (Intel Atom) με συχνότητα λειτουργίας στα 1.1 GHz. Επίσης ο οικιακός ελεγκτής ((Home Energy Controller, (HEC)) της εταιρείας Cisco, παρέχει στις εταιρείες κοινής ωφέλειας τα κατάλληλα εργαλεία τα οποία αποσκοπούν στην βελτίωση αλλά και την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών τους, εφαρμόζοντας αποτελεσματικά λειτουργίες όπως π.χ. είναι η διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management,

(DSM)), η απόρριψη των φορτίων αλλά και τα προγράμματα τιμολόγησης που αφορούν τις οικιστικές εφαρμογές. Το Σχήμα 5.5.1 δείχνει την αρχιτεκτονική ενός οικιακού ελεγκτή ((Home Energy Controller, (HEC)) της εταιρείας Cisco (Kailas et al., 2012).



Σχήμα 5.5.1 Αρχιτεκτονική οικιακού ελεγκτή ((Home Energy Controller, (HEC)) της εταιρείας Cisco (Kailas et al., 2012).

Μέσω της χρήσης ενός οικιακού ελεγκτή-διαχειριστή ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC)), οι καταναλωτές θα μπορούν να επωφεληθούν από τα ειδικά προγράμματα που αναφέρονται στην τιμολόγηση της ενέργειας, καθώς επίσης θα μπορεί να επιτυγχάνεται και καλύτερη ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) για ενέργεια. Τα συστήματα ενός οικιακού ελεγκτή-διαχειριστή ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC)) παρέχουν:

- Ελκυστικές εφαρμογές που σχετίζονται με την διαχείριση της ενέργειας των χρηστών, προσδίδοντας τους έτσι την ευκολία να παρακολουθούν και να μπορούν να κάνουν έναν προϋπολογισμό για την χρησιμοποιούμενη ενέργεια, καθώς επίσης και την δυνατότητα ελέγχου των θερμοστατών αλλά και των συσκευών.
- Την δυνατότητα διαχείρισης ενός οικιακού δικτύου ((Home Area Network, (HAN)), το οποίο με την σειρά του θα μπορεί να προσφέρει δεδομένα στον χρήστη για την χρήση της ενέργειας στο συγκεκριμένο οίκημα μέσω μιας διαδικασίας παρακολούθησης και ελέγχου των ενεργειακών φορτίων.



- Εξαιρετικά ασφαλείς επικοινωνίες δεδομένων από άκρο σε άκρο, τόσο μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων δικτυακών μέσων όσο και μεταξύ των πρωτοκόλλων δικτύωσης.

Ο οικιακός ελεγκτής ((Home Energy Controller, (HEC)) της εταιρείας Cisco, αναφέρεται σε μια συσκευή δικτύου η οποία συντονίζεται με τα δίκτυα στο σπίτι αλλά και τα σχετικά πρωτόκολλα ασφάλειας, όπως π.χ. είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee, το οποίο αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων συσκευών, το πρωτόκολλο επικοινωνίας WiFi το οποίο αναφέρεται στην επικοινωνία με το οικιακό δίκτυο καθώς αλλά και τα συστήματα ((Programmable logic controller, (PLC)), όπου λόγω της επικοινωνίας μέσω χρήσης κατάλληλων βοηθητικών προγραμμάτων τα οποία μπορούν και αποδίδουν πληροφορίες σχετικές με τα επίπεδα της ενεργειακής κατανάλωσης. Για την υλοποίηση της παρακολούθησης αλλά και του έλεγχου των ενεργειακών φορτίων, όπως π.χ. είναι το σύστημα θέρμανσης, το σύστημα εξαερισμού και κλιματισμού ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC)), οι θερμοσίφωνες, οι τηλεοράσεις, οι υπολογιστές κ.α. συσκευές, οι καταναλωτές οφείλουν να συνδέσουν ασύρματα τα κατάλληλα συμβατά περιφερειακά συστήματα με τον οικιακό ελεγκτή ενέργειας ((Home Energy Controller, (HEC)) (Kailas et al., 2012).

## **5.6 Το παγκόσμιο πρότυπο ελέγχου κτιρίου (KNX)**

Το πρότυπο (KNX), ορίζεται ως το παγκόσμιο πρότυπο το οποίο σχετίζεται με τον έλεγχο της κατοικίας και γενικά του κτιρίου. Εκμεταλλεύεται ένα εργαλείο λογισμικού που ονομάζεται ((Engineering Tool Software, (ETS)) το οποίο αφορά τον προγραμματισμό και τον σχεδιασμό ενός συστήματος KNX με πιστοποιημένες συσκευές καθώς και για την εφαρμογή αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών των συσκευών. Σε σύγκριση με τις απλές συμβατικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, ένα έξυπνο σύστημα ελέγχου KNX, αποτελούμενο από ένα σύστημα αυτοματισμού έχει εμφανή οφέλη καθώς όλα αυτά τα διαφορετικά υποσυστήματα που ενσωματώνονται στο κτίριο θέτουν ως στόχο την βελτίωση τόσο της επίδοσης όσο και της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου μέσω χρήσης ενός δίαυλου επικοινωνίας KNX. Το πρότυπο περιλαμβάνει δύο διαφορετικές ρυθμίσεις λειτουργίας των παραμέτρων σε σχέση πάντα με τις οικιακές συσκευές αυτοματισμού:

1. Η πρώτη σχετίζεται με την λειτουργία ενός συστήματος (System-Mode). Πρόκειται για μια λειτουργία η οποία αναφέρεται σε καλά εκπαιδευμένους εγκαταστάτες

συστημάτων KNX, οι οποίοι θέλουν να εφαρμόσουν εξελιγμένες λειτουργίες ελέγχου στο κτίριο.

2. Η δεύτερη σχετίζεται με την εύκολη λειτουργία (Easy-Mode). Πρόκειται για μια λειτουργία η οποία αναφέρεται στις περιορισμένες λειτουργίες σε σχέση πάντα με την προηγούμενη λειτουργία (System-Mode), αλλά και στο γεγονός ότι αναφέρεται σε εγκαταστάτες με βασική εκπαίδευση και εξειδίκευση πάνω στο πρότυπο KNX (Luca et al., 2013).

Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατόπιν διεξαγωγής πολλών μελετών πάνω στο κομμάτι που αφορά τα έξυπνα περιβάλλοντα, αποδείχθηκε ότι στην πράξη εκδηλώνεται περισσότερο ενδιαφέρον ιδιαίτερα στα συστήματα αυτοματισμού των κατοικιών, τα οποία όμως βασίζονται στο παγκόσμιο πρότυπο ελέγχου των κτιρίων KNX. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται σε τρεις παραμέτρους:

1. Η πρώτη αφορά την ασφάλεια του συστήματος.
2. Η δεύτερη αφορά τον έλεγχο συμφόρησης του συστήματος.
3. Η τρίτη αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας του συστήματος.

Από την πλευρά της ασφάλειας του συστήματος, προτείνεται και εφαρμόζεται μια τεχνική η οποία θα διασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων μέσα από ένα δίκτυο αυτοματισμών του κτιρίου, το οποίο προβάλλει ένα περιβάλλον εφαρμογής συστήματος ελέγχου του κτιρίου το οποίο βασίζεται στο παγκόσμιο πρότυπο ελέγχου κτιρίων KNX.

Από την πλευρά της ενδεχόμενης συμφόρησης του συστήματος, τα συστήματα KNXnet και Internet Protocol (IP), αναφέρονται σε προβλήματα που οφείλονται στην παρουσία μιας συγκεκριμένης συσκευής, η οποία ονομάζεται δρομολογητής KNXnet/IP και έχει την ικανότητα να επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφορετικών δικτύων KNX μέσω χρήσης ((Internet Protocol, (IP)). Λόγω του γεγονότος ότι το εύρος ζώνης ενός δικτύου KNX είναι περιορισμένο σε περίπτωση που ο δρομολογητής KNXnet/IP λάβει περισσότερα μηνύματα από αυτά που είναι σε θέση να αποστείλει μπορεί να επιφέρει εμπόδια στην δρομολόγηση αυτών των μηνυμάτων μεταξύ των διασυνδεδεμένων συσκευών που βρίσκονται σε ένα σύστημα ελέγχου του κτιρίου KNX. Για αυτόν τον λόγο συνιστάται η χρήση αποτελεσματικών κανόνων για την προώθηση μηνυμάτων στην εφαρμογή μέσω της χρήσης των δρομολογητών KNXnet /IP.

Τέλος σε ότι έχει να κάνει με την οικιακή κατανάλωση ενέργειας, η οποία μάλιστα αποτελεί θέμα ενδιαφέροντος τόσο για τους ερευνητές όσο και για τους καταναλωτές για τον λόγο ότι επικεντρώνεται τόσο στην μείωση κατανάλωσης της ενέργειας όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος, αναπτύσσονται προσομοιώσεις που λαμβάνουν μέρος σε οικίες αλλά και σε κτίρια εφαρμόζοντας μια στρατηγική η οποία αφορά την ενεργειακή απόδοση αλλά και την άνεση των χρηστών, με βάσει τα νευρωνικά δίκτυα που προτάθηκαν και δοκιμάστηκαν χρησιμοποιώντας μια πειραματική πλατφόρμα KNX-bus.

Εκτός από τα ήδη προαναφερθέντα στοιχεία για το πρότυπο συστήματος ελέγχου του κτιρίου (KNX), σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα έξυπνα περιβάλλοντα που βασίζονται στο πρότυπο KNX, στοχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων με την εφαρμογή νέων συστημάτων ικανών να ελέγχουν τις παραμέτρους άνεσης. Για την υλοποίηση αυτού του στόχου εφαρμόζεται ενσωμάτωση της επικοινωνίας μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων. Παράδειγμα αποτελεί η άνεση που προκύπτει σε ένα κτίριο αποτελούμενο από πολλά γραφεία, όπου μέσω της διαδικασίας σχεδιασμού ενός συστήματος βασισμένου πάνω στο πρότυπο συστήματος ελέγχου του κτιρίου KNX, το οποίο βέβαια είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων ((Wireless Sensor Networks, (WSN))), οι οποίοι είναι σε θέση να παρακολουθούν και να ελέγχουν στοιχεία του κτιρίου όπως π.χ. είναι ο φωτισμός, η θέρμανση αλλά και ο εξαερισμός του κτιρίου. Η χρήση ενός δικτυακού ασύρματου αισθητήρα ((Wireless Sensor Networks, (WSN))), παρέχει στο σύστημα πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο των παραμέτρων άνεσης με χρήσης της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας (Luca et al., 2013).

### **5.7 Σύστημα κτιριακών αυτοματισμών (BAS) υπο την σκέψη της βελτίωσης της ελαστικότητας της ενέργειας**

Όπως είναι ευρέως γνωστό τα κτίρια καταναλώνουν μεγάλο ποσοστό της συνολικής καταναλώμενης ενέργειας, το οποίο μάλιστα αγγίζει σε ποσοστό περίπου το 40%. Για αυτό τον λόγο, γίνεται σαφές ότι τα κτίρια από ένα σημείο και μετά και κυρίως τα μελλοντικά κτίρια, θα πρέπει να προβούν σε μειώσεις της ενεργειακής κατανάλωσης τους. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό από την χρήση εφαρμογών που έχουν ως στόχο την ορθολογική χρήση της ενέργειας η οποία μπορεί να προέρχεται είτε από την χρήση των

ΑΠΕ στον χώρο, είτε από παθητικές στρατηγικές, είτε τέλος και από την χρήση αποτελεσματικών συστημάτων κτιριακής διαχείρισης που αναφέρεται στα λεγόμενα συστήματα ((Building Management System, (BMS) & ((Building Automation System, αλλά και τα ((Building Energy Management Systems, (BEMS)).

Τα συστήματα αυτοματισμού ((Building Automation System, (BAS)), έχουν την ικανότητα να μπορούν να παρακολουθούν πολλές μεταβλητές σε πραγματικό χρόνο και να αναλύουν ιστορικά δεδομένα, που βοηθάνε στην γρήγορη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας των συσκευών ώστε να είναι εφικτό με αυτόν τον τρόπο να παρέχεται το στοιχείο της άνεσης στους χρήστες αλλά και της σωστής διαμόρφωσης και λειτουργίας των συσκευών που απαρτίζουν ένα σύστημα αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)). Στόχος αυτής της προσέγγισης είναι να υπάρξει ισορροπία στην λειτουργία του κτιριακού συστήματος αυτοματισμού ανεξάρτητα από τις διάφορες μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Ένα σύστημα κτιριακού αυτοματισμού ((Building Automation System, (BAS)), αποτελείται πέραν του υλικού και από λογισμικό το οποίο ενσωματώνει διάφορα συστήματα αυτοματισμών όπως π.χ. είναι του έλεγχου πρόσβασης, της ασφάλειας, της καταγραφής μέσω χρήσης καμερών ((Closed-Circuit Television System, (CCTV)), του φωτισμού LIGHTING, του ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC)), της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ. Όπως προαναφέραμε κύριος σκοπός του συστήματος ((Building Automation System, (BAS)), εκτός από την εξοικονόμηση της ενέργειας έχει να κάνει και με την εξασφάλιση του στοιχείου της άνεσης αλλά και της ασφάλειας των χρηστών. Από την άλλη πλευρά βέβαια αυτό έχει σαν επακόλουθο την αύξηση των εφαρμογών που σχετίζονται με την υποστήριξη της ενεργειακής διαχείρισης αλλά και της παρακολούθησης διαφόρων παραμέτρων είτε αφορούν την λήψη αποφάσεων, είτε αφορούν την προβολή δεδομένων (Osma et al., 2015).

Επίσης τα συστήματα κτιριακών αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)), αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για τις εταιρείες όπως π.χ. είναι η Siemens, η Schneider Electric, η Johnson Controls και η Honeywell, οι οποίες έχουν να αντιμετωπίσουν μόνιμες ή προσωρινές αλλαγές οι οποίες μπορεί να κάνουν την εμφάνιση τους στο περιβάλλον λειτουργίας του συστήματος όπου μπορεί να έχουν ως συνέπειες τον επηρεασμό της ευημερίας των χρηστών, την αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας ή ακόμα και την παραπάνω οικονομική ενίσχυση π.χ. για την αντικατάσταση των υπαρχόντων

συστημάτων, για να μπορέσει να επέλθει η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των χρηστών. Επιπλέον οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιούν το πρότυπο EN 15232, το οποίο στοχεύει στην ενεργειακή απόδοση αλλά και την αειφόρο ανάπτυξη των κτιρίων και μάλιστα παρέχει τέσσερις κατηγορίες ταξινόμησης συστημάτων κτιριακών αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)), οι οποίες σχετίζονται με την ενεργειακή συμπεριφορά.

Τα συστήματα κτιριακών αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)), μπορούν να μειώσουν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του κτιρίου, λόγω της χρήσης συστημάτων αλλά και εφαρμογών όπως π.χ. είναι αυτό της παρακολούθησης, της προσομοίωσης, της ιστορικής αναδρομής αλλά και της ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Επίσης ενσωματώνουν έξυπνες εφαρμογές προς όφελος των χρηστών, του κτιρίου, καθώς και του περιβάλλοντος διότι εξετάζονται και αναλύονται απ το σύστημα παράγοντες που έχουν να κάνουν με τις κλιματικές συνθήκες των περιοχών όπως είναι π.χ. το φως της ημέρας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπου στοχεύουν σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας μέσω χρήσης συστημάτων όπως π.χ. είναι αυτό του φωτισμού LIGHTING και του ((Heating, Ventilation and Air-Conditioning, (HVAC)). Σημαντικό κομμάτι βέβαια αποτελούν και οι συνήθειες των χρηστών, οι οποίες έχουν βέβαια άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον τους παρέχεται η δυνατότητα να ενσωματώσουν κομμάτι των (ΑΠΕ), που σχετίζεται με την αποθήκευση αλλά και την παράλληλη υποστήριξη με το κεντρικό δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας (Osma et al., 2015).

Η συμβολή των συστημάτων κτιριακών αυτοματισμών ((Building Automation System, (BAS)), μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη τόσο για τους χρήστες όσο και για τα ίδια τα κτίρια. Σε αυτό το σημείο γίνεται αναφορά πλέον για ένα εφικτό υλοποιήσιμο σχέδιο που ως σκοπό έχει την επίτευξη μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας με θετικό πάντα προσανατολισμό προς το περιβάλλον καθ' όλη την διάρκεια ζωής του κτιρίου. Ο Πίνακας 2 δείχνει ορισμένες περιπτώσεις σχετικά με τα ενεργειακά οφέλη από την χρήση συστημάτων ((Building Automation System, (BAS)).

Πίνακας 2. Αναφορά επιτυχημένων ενεργειακά αυτοματοποιημένων κτιριακών εφαρμογών ((Building Automation System, (BAS)) .

Ref.	Year	Country	Type of work	Approach	Findings
[3]	2010	Portugal	Educational / Design and simulation	Energy management	Integration of several energy sources (renewable and conventional) to reduce the conventional energy consumption.
[10]	2014	Italy	Office / Design and simulation	Energy efficiency from lighting system	Integration of daylighting with artificial lighting from automated hybrid system. Energy savings between 17% and 32%.
[12]	2013	Greece	Commercial / Pilot	Energy efficiency from lighting and HVAC systems	Integrated system of energy efficiency aimed to the reduction of the demand peaks and the operation costs.
[17]	2014	Colombia	Office / green building	Energy efficiency from lighting system	Integration of daylighting with artificial lighting from automated hybrid system. Energy savings around 70%.
[22]	2011	Brazil	Commercial / Simulation	Energy efficiency from lighting system	Integration of daylighting with artificial lighting from automated hybrid system. Energy savings around 23%.
[26]	2013	USA	Office / pilot	Energy efficiency from lighting system	Integration of daylighting with artificial lighting from automated hybrid system. Energy savings around 20%.

Source: (Osma et al., 2015).

Όπως σε όλα τα πράγματα έτσι και στην περίπτωση των συστημάτων ((Building Automation System, (BAS)), εκτός από τα διάφορα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στην λειτουργία των κτιρίων, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία κυρίως έχουν να κάνουν με την εμφάνιση ενδεχόμενων προβλημάτων όπως π.χ. είναι η περίπτωση της πολυπλοκότητας που εμφανίζουν κάποιες εφαρμογές, η ανάγκη για χρήση εξειδικευμένου προσωπικού για να μπορέσουν να υλοποιήσουν αυτά τα συστήματα, η πιθανή σύγχυση λόγω διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων συστημάτων αλλά και των εμπλεκόμενων συσκευών, καθώς και το υψηλό κόστος εγκατάστασης, συντήρησης ή ακόμα και πιθανής επέκτασης του συστήματος. (Osma et al., 2015).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 6.1 Η έννοια του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση (DR)

Η ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), εστιάζει κυρίως στις διάφορες αλλαγές που έχουν να κάνουν με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας πράγμα που σημαίνει πως έχει άμεση σχέση με τους καταναλωτές και τις συνθήκες τους, με στόχο βέβαια αυτοί να μπορούν να ανταπεξέλθουν μέσα από μια σειρά αλλαγών που αφορούν είτε την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είτε και μέσω των διαφόρων κινήτρων που τους δίνονται έτσι ώστε να μειωθεί η ζήτηση κατά την διάρκεια των κρίσιμων περιόδων.

- Η ανταπόκριση στην ζήτηση που σχετίζεται με τις τιμές και μπορεί να αναφέρεται: Είτε σε τιμή χρόνου χρήσης της ενέργειας ((Time Of Use, (TOU))), είτε σε τιμή σε πραγματικό χρόνο ((Real Time Pricing, (RTP))), αλλά είτε και σε τιμή κατά την διάρκεια των κρίσιμων περιόδων αιχμής της ζήτησης ((Critical Peak Pricing, (CPP))).
- Αντίθετα από την πλευρά των κινήτρων μπορεί να αναφέρεται είτε στον άμεσο έλεγχο του φορτίου, είτε στο διακοπτόμενο φορτίο, είτε σε υποβολή προσφορών από την πλευρά της ζήτησης, είτε τέλος και σε ανταπόκριση στην ζήτηση εκτάκτων αναγκών.

Με λίγα λόγια ένα σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), διαχειρίζεται την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ενός πελάτη ανταποκρινόμενο βέβαια τόσο στις διάφορες μεταβαλλόμενες συνθήκες κατά το στάδιο της τροφοδοσίας όσο και για την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης στο σύνολο. Οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν το κλειδί για βασικά τμήματα των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του έξυπνου δικτύου ενώ παράλληλα τώρα αναπτύσσονται σε διεθνές επίπεδο για να επιτύχουν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (U.S. Department of Energy, 2006).

Η ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), αφορά την ζητούμενη ενέργεια και δίνει την ευελιξία στους καταναλωτές να προσαρμόσουν τις ανάγκες τους ανάλογα βέβαια με τις διάφορες αλλαγές που γίνονται στην τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αποτέλεσμα είναι να υπάρξει μείωση της ζητούμενης ενέργειας, είτε κατά τις ώρες αιχμής, είτε κατά την διάρκεια των περιόδων όπου επικρατεί μη αξιοπιστία στο

δίκτυο. Συμπέρασμα αποτελεί το γεγονός ότι όσο θα μειώνονται τα επίπεδα ζήτησης για ενέργεια τόσο θα μειώνεται το φορτίο ενέργειας με αποτέλεσμα να αποφεύγονται έκτακτα περιστατικά στο δίκτυο όπως π.χ. είναι οι διακοπές. Επίσης μέρος της ανταπόκρισης στην ζήτηση αποτελεί και ο διαχωρισμός των πελατών ανάλογα βέβαια με την κατανάλωση ενέργειας τους.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι εξαιτίας της έλλειψης τόσο του σήματος τιμών όσο και του μηχανισμού αγοράς που σχετίζεται με την προώθηση του συστήματος ανταπόκρισης στη ζήτηση ((Demand Response, (DR)), στην Κίνα, η ανταπόκριση στην ζήτηση επιτεύχθηκε κυρίως μέσω της χρήσης άλλων μέσων όπως π.χ. είναι η τεχνολογία, η διοίκηση αλλά και οι επιδοτήσεις, συμπεριλαμβανομένης βέβαια και της αλλαγής της αιχμής της ζήτησης, καθώς και της αναβάθμισης της διαδικασίας σε κομμάτια όπως π.χ. είναι αυτό της παραγωγής, της προσαρμογής του χρόνου παραγωγής και προώθησης του εξοπλισμού εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς βέβαια να λαμβάνονται πλήρως υπόψη οι πρωτοβουλίες των πελατών. Ωστόσο σε ανεπτυγμένες χώρες όπως αποτελεί το Ηνωμένο Βασίλειο και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι οποίες έχουν αναπτύξει πλήρως το κομμάτι που σχετίζεται με την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν υλοποιήσει διάφορα έργα που αναφέρονται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση, τα οποία ελέγχουν αποτελεσματικά το μέγιστο φορτίο των συστημάτων. Στην Ευρώπη για παράδειγμα η οποία κατέχει οκτώ μεγάλες περιφερειακές αγορές που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια, τα έργα που αναφέρονται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση σε κάθε χώρα μπορούν να επιφέρουν μειώσεις του μέγιστου φορτίου, με ποσοστό περίπου της τάξης έως και του 2,9% κατά μέσο όρο.

Επίσης βάσει μιας μελέτης που έλαβε χώρα στην Σουηδία μεταξύ κατοικιών, έδειξε ότι μακροπρόθεσμα τα νοικοκυριά θα εξακολουθούν να ανταποκρίνονται στα επίπεδα τιμών τιμολόγησης της ενέργειας, μειώνοντας έτσι την ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής και αυξάνοντας αντίθετα την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας τους κατά τις ώρες μη αιχμής. Γενικά τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση μπορεί να είναι σημαντικά, καθώς μπορεί με αυτόν τον τρόπο να μειωθεί αποτελεσματικά το μέγιστο φορτίο του συστήματος ισχύος αλλά και να επιτευχθούν καθυστερήσεις των όποιων επενδύσεων που απαιτούνται για τις μονάδες νέας γενιάς καθώς και των γραμμών μεταφοράς. Επίσης μπορεί να επιφέρει βελτίωση στην κατανάλωση της ενέργειας μέσω της χρήσης των (ΑΠΕ) (Huang et al., 2019).



## 6.2 Τα πλεονεκτήματα απο την εφαρμογή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση (DR)

Τα οφέλη από την εφαρμογή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) μπορούν να ταξινομηθούν βάσει τριών λειτουργικών κατηγοριών:

1. Πλεονεκτήματα μέσω άμεσης λειτουργίας ((Demand Response, (DR)).
2. Πλεονεκτήματα μέσω ασφαλής λειτουργίας ((Demand Response, (DR)).
3. Γενικότερα πλεονεκτήματα .

Τα πλεονεκτήματα μέσω της άμεσης λειτουργίας σχετίζονται με τους καταναλωτές όπου πλέον θα μπορούν να απολαμβάνουν τις δυνατότητες αλλά και τα οφέλη από την χρήση του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), ενώ αντίθετα τα πλεονεκτήματα μέσω της ασφαλής λειτουργίας άλλα και τα γενικά πλεονεκτήματα σχετίζονται με μερικές ή ακόμα και με όλες τις ομάδες των καταναλωτών που κάνουν χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη των δύο πρώτων κατηγοριών μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με νομισματικούς όρους, ενώ αντίθετα τα οφέλη που αντιστοιχούν στην τρίτη κατηγορία είναι πιο δύσκολο και γενικώς δημιουργείται ασάφεια στα ενδεχόμενα έσοδα μέσω της διαδικασίας ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) (U.S. Department of Energy, 2006).

1. Πλεονεκτήματα για τους συμμετέχοντες μέσω της άμεσης λειτουργίας ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Οι πελάτες που προσαρμόζουν την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας τους ως απόκριση τόσο στις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στα κίνητρα που παρουσιάζονται μέσω του προγράμματος ανταπόκρισης στην ζήτηση το κάνουν κυρίως για να επιτύχουν οικονομικά οφέλη όπως:
  - Τα οικονομικά αυτά οφέλη προσφέρουν εξοικονόμηση χρημάτων στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος των πελατών, τα οποία βέβαια είναι αποτέλεσμα λόγω της μειωμένης χρήσης της ενέργειας κατά τις περιόδους όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη, καθώς επίσης και από την ενδεχόμενη μετατόπιση του φορτίου χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι χαμηλότερη. Επιπλέον οι καταναλωτές θα μπορούν να επιτύχουν και άλλα οικονομικά οφέλη μέσω των διάφορων κινήτρων που τους παρέχονται από προγράμματα ανταπόκρισης στην ζήτηση για τα οποία γίνεται περαιτέρω ανάλυση παρακάτω.

- Τα οφέλη μέσω της αξιοπιστίας σχετίζονται κυρίως με την ελαχιστοποίηση του κινδύνου που επικρατεί στο σύστημα λόγω της πιθανής απώλειας παροχής υπηρεσιών από την εμφάνιση πιθανών ενδεχόμενων διακοπών λειτουργίας. Αυτό πολλές φορές έχει να κάνει βέβαια και με την αντίληψη του κάθε καταναλωτή σε σχέση με τα επίπεδα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το επίπεδο των άμεσων παροχών που απολαμβάνουν οι συμμετέχοντες πελάτες εξαρτάται κυρίως από την ικανότητά τους στο να αλλάζουν ή ακόμα και να περιορίζουν το φορτίο τους, αλλά και στα κίνητρα που προσφέρονται λόγω των χρονικά μεταβαλλόμενων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά κ.α. πιθανών πρόσθετων προγραμμάτων τα οποία βασίζονται σε διάφορα κίνητρα που προσφέρονται στους πελάτες (U.S. Department of Energy, 2006).

2. Πλεονεκτήματα για τους συμμετέχοντες μέσω της ασφαλούς λειτουργίας της ανταπόκρισης στην ζήτηση Demand Response ((Demand Response, (DR)). Η ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), μέσω της αξιοπιστίας που προσφέρει στο σύστημα, παράγει οφέλη παροχής ασφάλειας που σχετίζονται στο σύνολο με τους περισσότερους καταναλωτές. Τα οφέλη που έχουν αντίκτυπο σε όλο το σύστημα, προσδίδουν το πρωταρχικό ερέθισμα-κίνητρο για την κίνηση εκδήλωσης ενδιαφέροντος των υπευθύνων χάραξης ενεργειακής πολιτικής με το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Αυτά τα επιπλέον οφέλη μπορούν λειτουργικά να κατηγοριοποιηθούν σε short-term, δηλαδή βραχυπρόθεσμες και σε long-term, δηλαδή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην αγορά, καθώς και οφέλη αξιοπιστίας:

- Οι Short-term, δηλαδή οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις στην αγορά αποτελούν την πιο άμεση και εύκολα μετρήσιμη πηγή οικονομικών οφελών από την εφαρμογή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Σε γενικές γραμμές, αποτελούν μια εξοικονόμηση μεταβλητού κόστους προμήθειας η οποία οφείλεται στην αποτελεσματικότερη χρήση του ηλεκτρικού συστήματος, δεδομένης αυτής της διαθέσιμης υποδομής. Παράλληλα η αποδοτικότερη χρήση των πόρων, με την δημιουργία καλύτερων δεσμών μεταξύ των τιμών λιανικής πώλησης και του οριακού κόστους προμήθειας, μεταφράζεται ως μια βραχυπρόθεσμη εξοικονόμηση λογαριασμών στους καταναλωτές από την αποφυγή χρήσης της ενέργειας. Οπότε με αυτόν τον τρόπο οι πελάτες θα εξυπηρετούνται απόλυτα από τις ολοκληρωμένες

υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και τα βραχυπρόθεσμα αυτά οφέλη θα περιορίζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται το μεταβλητό κόστος προμήθειας. Σε περιοχές με οργανωμένες αγορές η ανταπόκριση στην ζήτηση θα μειώνει επίσης τις τιμές χονδρικής αγοράς για όλη την ενέργεια που θα διαπραγματεύεται στην ισχύουσα αγορά. Οι μειώσεις που γίνονται στην χρήση της ενέργειας κατά την διάρκεια των περιόδων αιχμής της ζήτησης, δηλαδή όταν οι τιμές θα είναι υψηλές, θα οδηγούν σε χαμηλότερη τιμή εκκαθάρισης της αγοράς (market clearing price). Το ποσό της εξοικονόμησης που θα επιτυγχάνεται μέσα από τις χαμηλότερες τιμές της χονδρικής αγοράς εξαρτάται από το ποσό της ενέργειας που θα διαπραγματεύεται στις αγορές έναντι των δεσμεύσεων μέσα από προθεσμιακές συμβάσεις.

- Οι long-term, δηλαδή οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της αγοράς εξαρτώνται από την ικανότητα του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), να μειώνει την ζήτηση τόσο στο σύστημα όσο αντίστοιχα και στις περιπτώσεις τοπικής αιχμής, με στόχο την αποτροπή αύξησης των τιμολογίων της ενέργειας καθώς και την ανάγκη κατασκευής πρόσθετης υποδομής παραγωγής, μεταφοράς ή διανομής της ενέργειας.
  - Τα οφέλη που σχετίζονται με την αξιοπιστία του συστήματος αναφέρονται στην ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων εμφάνισης αναγκαστικής διακοπής της λειτουργίας του συστήματος όταν τα αποθέματα του θα βρίσκονται κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα. Έτσι μειώνοντας την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια των κρίσιμων περιόδων όπως π.χ., αποτελεί η περίπτωση της αποτυχίας μιας γεννήτριας ή μιας γραμμής μετάδοσης μέσω του συστήματος της ανταπόκρισης στην ζήτηση που αποστέλλεται από το σύστημα, ο χειριστής θα μπορεί μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα να βοηθήσει το σύστημα να επιστρέψει στα επιθυμητά επίπεδα ασφαλούς λειτουργίας (U.S. Department of Energy, 2006).
3. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα για τους συμμετέχοντες μέσω της λειτουργίας της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))). Το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), μπορεί να προσφέρει περισσότερα οφέλη τα οποία μπορούν να προκύψουν σε ορισμένους ή ακόμα και σε όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά αλλά δεν μπορούν εύκολα να ποσοτικοποιηθούν όπως π.χ. είναι:

- Robust retail markets, δηλαδή πιο ισχυρές λιανικές αγορές: Σύμφωνα με τα λεγόμενα των (Barbose et al., 2005; Neenan et al., 2003), προκύπτει ότι σε ανταγωνιστικές λιανικές αγορές, το ((Real Time Pricing, (RTP)), που αναφέρεται στην τιμολόγηση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο προεπιλεγμένων υπηρεσιών μπορεί να ενθαρρύνει την καινοτομία από τους προμηθευτές λιανικής καθώς και τα προγράμματα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), μέσω των ανεξάρτητων διαχειριστών συστημάτων, ((Independent System Operator Response, (ISO)) και περιφερειακών οργανισμών μεταφοράς, ((Regional Transmission Organizations, (RTO)), στο να μπορούν να προσφέρουν ευκαιρίες προστιθέμενης αξίας για τους εμπόρους.
- Βελτιωμένη επιλογή: Η ανταπόκριση στην ζήτηση μπορεί να παρέχει διευρυμένες επιλογές για τους πελάτες σε διάφορες δομές της λιανικής αγοράς όπως π.χ. αποτελούν οι πολιτείες με ή χωρίς ανταγωνισμό λιανικής αγοράς ενέργειας μέσω πρόσθετων επιλογών για την διαχείριση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη: Η ανταπόκριση στην ζήτηση μπορεί να προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη μέσω της μείωσης των εκπομπών των μονάδων παραγωγής κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης. Μπορεί επίσης να συμβάλει με γενικά αποτελέσματα σε σχέση με την διατήρηση τόσο της απευθείας, μέσω της μείωσης του φορτίου ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), το οποίο δεν αντισταθμίζονται σε άλλη στιγμή όσο και έμμεσα από την αυξημένη ευαισθητοποίηση των πελατών για τη χρήση και το κόστος της ενέργειας (King & Delurey, 2005). Όλα τα παραπάνω στοιχεία που προαναφέρθηκαν αποτυπώνονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

Πινάκας 3. Οφέλη μέσω της χρήσης του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)).

Type of Benefit	Recipient(s)	Benefit		Description/ Source
Direct benefits	Customers undertaking demand response actions	Financial benefits		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bill savings</li> <li>• Incentive payments (incentive-based demand response)</li> </ul>
		Reliability benefits		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced exposure to forced outages</li> <li>• Opportunity to assist in reducing risk of system outages</li> </ul>
Collateral benefits	Some or all consumers	Market impacts	Short-term	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost-effectively reduced marginal costs/prices during events</li> <li>• Cascading impacts on short-term capacity requirements and LSE contract prices</li> </ul>
			Long-term	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoided (or deferred) capacity costs</li> <li>• Avoided (or deferred) T&amp;D infrastructure upgrades</li> <li>• Reduced need for market interventions (e.g., price caps) through restrained market power</li> </ul>
		Reliability benefits		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced likelihood and consequences of forced outages</li> <li>• Diversified resources available to maintain system reliability</li> </ul>
Other benefits	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Some or all consumers</li> <li>• ISO/RTO</li> <li>• LSE</li> </ul>	More robust retail markets		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Market-based options provide opportunities for innovation in competitive retail markets</li> </ul>
		Improved choice		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Customers and LSE can choose desired degree of hedging</li> <li>• Options for customers to manage their electricity costs, even where retail competition is prohibited</li> </ul>
		Market performance benefits		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elastic demand reduces capacity for market power</li> <li>• Prospective demand response deters market power</li> </ul>
		Possible environmental benefits		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced emissions in systems with high-polluting peaking plants</li> </ul>
		Energy independence/ security		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local resources within states or regions reduce dependence on outside supply</li> </ul>

Source: (U.S. Department of Energy, 2006).

### 6.3 Έρευνες στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση (DR)

Ενδεικτικά σε αυτό το σημείο γίνεται αναφορά σχετικά με μια έρευνα που αναφέρεται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση το οποίο επικεντρώνεται κυρίως σε δύο πτυχές:

1. Στην βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ισχύος λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση.
2. Στην βέλτιστη στρατηγική που αναφέρεται στους πελάτες-καταναλωτές οι οποίοι συμμετέχουν στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση σύμφωνα με εξωτερικά σήματα.

Υπό το σκεπτικό ενός συστήματος, μέσω εφαρμογής της βέλτιστης κατανομής των πόρων οι οποίοι σχετίζονται με το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση, στόχοι όπως π.χ. είναι το ελάχιστο συνολικό κόστος λειτουργίας, η ελάχιστη απώλεια του δικτύου, η

μέγιστη κατανάλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η μέγιστη κοινωνική ευημερία μπορούν να επιτευχθούν υπό ορισμένους περιορισμούς. Οι μέθοδοι που αναφέρονται στην μοντελοποίηση του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση περιλαμβάνουν εκείνες που βασίζονται στον συντελεστή ελαστικότητας της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση της ανάκαμψης του άμεσου ελέγχου του φορτίου. Οι υπό εξέταση πόροι που σχετίζονται με το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), περιλαμβάνουν οικιακούς ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες, κλιματιστικά, κατανεμημένες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας αλλά και ηλεκτρικά οχήματα.

Εν συνεχεία υπό το σκεπτικό των πελατών, θα λάβουν τα διάφορα σήματα τιμών που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια είτε από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είτε από τους προμηθευτές. Έχοντας υπόψη την άνεση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, η συγκέντρωση του φορτίου αλλά και η βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαχείρισης της ενέργειας πραγματοποιούνται για διάφορους τύπους ηλεκτρικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων και των περιπτώσεων που έχουν να κάνουν με την χρήση είτε φωτοβολταϊκών συστοιχιών οροφής, είτε και με συσκευές αποθήκευσης της ενέργειας σε διαφορετικές περιοχές, όπως π.χ. αποτελούν τα νοικοκυριά, τα κτίρια καθώς και κατοικημένες περιοχές (Huang et al., 2019).

#### **6.4 Ο σχεδιασμός πλαισίου του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση (DR)**

Ο σχεδιασμός του πλαισίου του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), βάσει μιας συγκεκριμένης έρευνας, αναφέρει ότι το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση έχει αναπτυχθεί και εξελιχτεί σε στάδια μετάβασης, με αρχικό βέβαια το χειροκίνητο, εν συνεχεία να ακολουθεί η μετάβαση στο ημιαυτόματο και τέλος στην αυτοματοποιημένη μετάβαση, επίσης σημειώνεται σημαντική βελτίωση τόσο στην αποτελεσματικότητά και στην αξιοπιστία του όσο και στην ευελιξία του. Κατά το στάδιο σχεδιασμού του πλαισίου του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση, η έρευνα αναφέρεται σε ένα σύστημα πρόβλεψης ελέγχου του μηχανισμού αυτόματης ανταπόκρισης στην ζήτηση, ο οποίος λαμβάνει κυρίως υπόψη την ενέργεια που προέρχεται από την διεσπαρμένη παραγωγή η οποία εν συνεχεία συνδέεται με το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης υποστηρίζει σε μεγάλη κλίμακα την υλοποίηση των έργων που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση και μπορεί να αντανακλά το

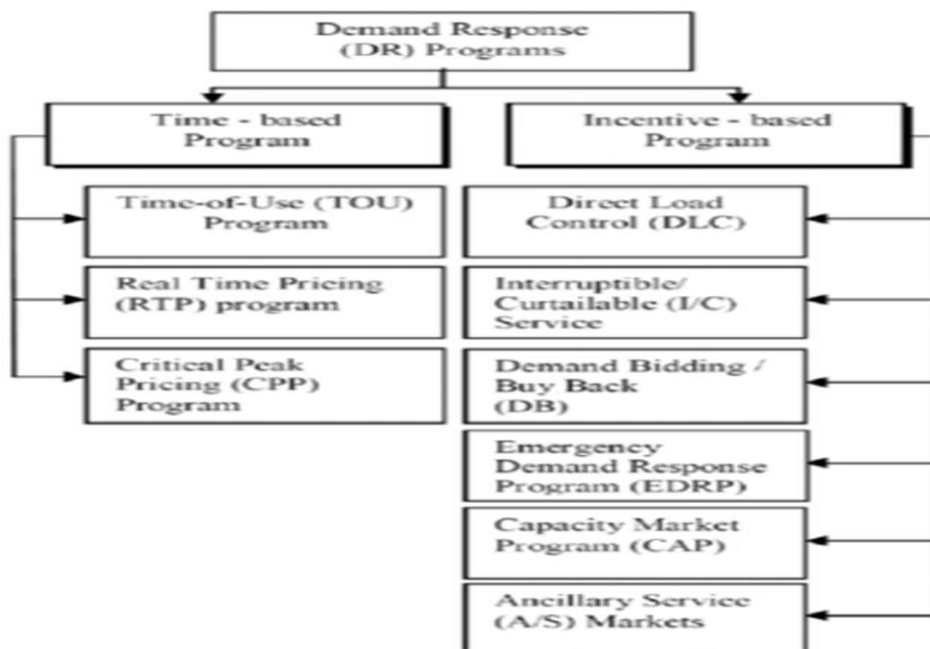
στάδιο σχεδιασμού, την λειτουργία σε πραγματικό χρόνο, τον οικονομικό διακανονισμό καθώς και την επαλήθευση της ενέργειας αλλά και των υπηρεσιών που παρεμβάλλονται κατά την διαδικασία. Η συγκεκριμένη έρευνα προτείνει ένα πλαίσιο συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε μια οικία εντός μιας τοπικής περιοχής δικτύου ((Local Area Network, (LAN)), ως μια αρχιτεκτονική υλικού η οποία θα πραγματοποιεί την σύνδεση μεταξύ του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας και της μονάδας διεπαφής του εξοπλισμού για να πραγματοποιήσει την ανταπόκριση στην ζήτηση στην υπάρχουσα οικία. Κατά την διαδικασία απόκτησης των δεδομένων κατανάλωσης της ενέργειας και της εκτέλεσης του τοπικού ελέγχου του φορτίου, μπορεί να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία μεταξύ της μονάδας της διεπαφής του εξοπλισμού και του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση.

Επίσης η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ εν συνεχεία πρότεινε ένα πλαίσιο με την ονομασία “Κεντρική Πληροφόρηση Ενεργειακής Υποδομής”, όπου ο κύριος σκοπός του είναι να πακετάρει και να ελέγχει διάφορους τύπους συστημάτων διεσπαρμένης ενέργειας, του φορτίου ή ακόμα και της αποθήκευσης της ενέργειας για να σχηματίσει τα υποδίκτυα της ενέργειας με διαφορετικές λειτουργίες. Κάθε ενεργειακό υποδίκτυο αλληλεπιδρά με άλλα μέσω των διεπαφών που ονομάζονται διακόπτες ισχύος για να μπορέσει να συνδυαστεί το έξυπνο πρωτόκολλο επικοινωνίας με την μετάδοση της ενέργειας σε ένα κοινό πλαίσιο και να πραγματοποιηθεί το βασικό πλαίσιο συνεργασίας για τον έλεγχο των διαφόρων κατανεμημένων πηγών ενέργειας, θέτοντας έτσι μια σταθερή βάση για την ανάπτυξη της ενέργειας του διαδικτύου (Huang et al., 2019).

### **6.5 Κατηγορίες προγραμμάτων που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση (DR)**

Σε αυτό το σημείο γίνεται μια αναφορά στα πρόσφατα προγράμματα που αναφέρονται στην αντιμετώπιση της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Για την υποστήριξη των λεγόμενων έξυπνων δικτύων στα πλαίσια της τελευταίας δεκαετίας έχουν προταθεί πολλές τεχνολογίες αλλά και τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, προηγμένη υποδομή μέτρησης ((Advanced metering infrastructure, (AMI)), δυνατότητα επίτευξης αμφίδρομης επικοινωνίας, ενσωμάτωση των οικιακών δικτύων ((Home Area Network, (HAN)), αλλά και την δυνατότητα χρήσης του οικιακού αυτοματισμού δίνοντας παράλληλα το έναυσμα και για

επενδύσεις που στοχεύουν στην παραγωγή ενέργειας μέσω χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η παραδοσιακά ανελαστική καμπύλη ζήτησης άρχισε με τον καιρό να αλλάζει εκμεταλλευόμενη τις δυνατότητες που προσφέρονται μέσω της χρήσης τεχνολογιών οι οποίες επιτρέπουν στους καταναλωτές είτε βιομηχανικούς, είτε οικιακούς να ανταποκρίνονται στην ενεργειακή συμπεριφορά της αγοράς, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ενέργειας τους τις ώρες αιχμής, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα χρήσης των αποθεμάτων ενέργειας που υπάρχουν, βασιζόμενοι πάντα στις υπάρχουσες ανάγκες, μειώνοντας επιπλέον παράλληλα και την ζήτηση της ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ως εκ τούτου η ανάπτυξη δραστηριοτήτων που σχετίζονται με το έξυπνο δίκτυο είχε ως αποτέλεσμα την ύπαρξη αυξημένου ενδιαφέροντος τόσο για τα προγράμματα που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) όσο και από την πλευρά της διαχείρισης της ζήτησης για ενέργεια ((Demand Site Management, (DSM)). Η ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφόρων προγραμμάτων αλλά και κινήτρων. Το Σχήμα 6.5.1 αναδεικνύει την κατηγοριοποίηση των προγραμμάτων ((Demand Response, (DR)) (Saad & Shahid, 2016).



Σχήμα 6.5.1 Κατηγορίες προγραμμάτων ανταπόκρισης στην ζήτηση Demand Response (DR). (Saad & Shahid, 2016).



Επίσης ο Πίνακας 4 απαριθμεί τους τύπους των προγραμμάτων που χρησιμοποιεί η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας ((Federal Energy Regulatory Commission, (FERC)), κατόπιν έρευνας που έγινε το 2012.

Πίνακας 4. Τύποι προγραμμάτων που απευθύνονται στην ανταπόκριση στη ζήτηση ((Demand Response, (DR)).

Incentive-Based Programs	Time-Based Programs
Demand Bidding and Buyback	Critical Peak Pricing with Control
Direct Load Control	Critical Peak Pricing
Emergency Demand Response	Peak Time Rebate
Interruptible Load	Real-Time Pricing
Load as Capacity Resource	Time-of-Use Pricing
Non-Spinning Reserves	System Peak Response Transmission Tariff
Regulation Service	
Spinning Reserves	

Source: (Samad et al., 2016)

Τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στη ζήτηση ((Demand Response, (DR)) για ενέργεια, χρησιμοποιούνται για την διαχείριση αλλά και για την αλλαγή του τρόπου κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενα στην προσφορά όπως π.χ. συμβαίνει με τις αντίστοιχες περιπτώσεις που αναφέρονται είτε στην αξιοπιστία (Emergency DR), είτε στην τιμή αγοράς (Economic DR), της ενέργειας. Αυτά τα προγράμματα μπορούν να περιλαμβάνουν παραμέτρους που σχετίζονται είτε με την μείωση του ηλεκτρικού φορτίου, είτε και με την χρήση τοπικής μικροπαραγωγής προερχόμενη από την διεσπαρμένη παραγωγή των πελατών π.χ. μέσω της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Το οικονομικό όφελος για τον διαχειριστή του συστήματος είναι η παροχή κινήτρων στον καταναλωτή καθώς και η ανταμοιβή του για αυτήν την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας ερχόμενη σε μια αντιπαράθεση με την καταβολή πρόσθετων λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη της διαθεσιμότητας της ζήτησης (U.S. Department of Energy, 2006; Saad & Shahid, 2016).

Ο διαχωρισμός των προγραμμάτων που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) γίνεται σε δυο κατηγορίες:

1. Η πρώτη αναφέρεται σε κλασικά προγράμματα που βασίζονται στην αγορά ή στην τιμολόγηση της ενέργειας ((Time Based Programs, (TBP)).

2. Η δεύτερη αναφέρεται σε προγράμματα που διαχειρίζονται κίνητρα ((Incentive-based programs, (IBP)).

Βάσει της φιλοσοφίας της πρώτης κατηγορίας που σχετίζεται με τα προγράμματα που βασίζονται στην αγορά ή στην τιμολόγηση της ενέργειας ((Time Based Programs, (TBP)), αυτοί οι τύποι προγραμμάτων βασίζονται γενικά σε δυναμικές τιμές αλλά και τιμές βάσει χρόνου, στις οποίες οι τιμές ακολουθούν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Ο απώτερος στόχος είναι να προωθηθεί το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), αυξάνοντας τα ποσοστά των τιμών κατά την διάρκεια της αιχμής και μειώνοντας από την άλλα πλευρά τα ποσοστά των τιμών σε ώρες εκτός αιχμής. Τα χρονικά μεταβαλλόμενα τιμολόγια λιανικής τιμής της ενέργειας (retail pricing tariffs), περιλαμβάνουν τιμές που έχουν να κάνουν είτε με τον χρόνο χρήσης της ενέργειας ((Time of Use Pricing, (ToU)), είτε με τις τιμές σε πραγματικό χρόνο ((Real Time Pricing, (RTP)), είτε με την τιμολόγηση που αναφέρεται σε κρίσιμες περιόδους αιχμής της ζήτησης ((Critical Peak Pricing, (CPP)), τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανταπόκριση στην ζήτηση βάσει της τιμής.

Σε αυτές τις τιμολογιακές περιπτώσεις η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος εναλλάσσεται σύμφωνα με τις διακυμάνσεις του υποκείμενου κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πελάτες έχουν την δυνατότητα σε αυτές τις μεταβαλλόμενες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας να μειώσουν τους λογαριασμούς τους εάν ενεργήσουν βάσει σχεδίου, προσαρμόζοντας δηλαδή το χρονοδιάγραμμα της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας τους είτε για να επωφεληθούν των χαμηλότερων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε την αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας όταν οι τιμές θα είναι υψηλότερες, με απώτερο σκοπό δηλαδή την μείωση του φορτίου λόγω της πιθανής αιχμής της ζήτησης. Η ανταπόκριση του κάθε καταναλωτή είναι αποτέλεσμα κυρίως είτε μέσω της ακολουθίας μιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων από οικονομικής πλευράς, είτε και μέσω εθελοντικών τροποποιήσεων του φορτίου (U.S. Department of Energy, 2006; Saad & Shahid, 2016).

Στην συνέχεια ακολουθεί μια σχετική αναφορά για τα προαναφερθέντα προγράμματα που σχετίζονται με την τιμολόγηση της ενέργειας ((Time Based Programs, (TBP)), τα οποία είναι τα εξής:

- ((Time of Use, (ToU)): Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται στην διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας, δηλαδή όλου του

24ώρου. Οι τιμές του προγράμματος ((Time of Use, (ToU)), σχετίζονται με τον χρόνο χρήσης της ενέργειας και αντικατοπτρίζουν το μέσο κόστος παραγωγής αλλά και παροχής ισχύος της ενέργειας κατά την διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων. Τα ποσοστά μέσω της χρήσης του προγράμματος ((Time of Use, (ToU)), συχνά διαφέρουν ανάλογα με την ώρα της ημέρας όπως συμβαίνει αντίστοιχα π.χ. κατά την διάρκεια μεταξύ των περιόδων αιχμής αλλά και μη αιχμής του συστήματος ή ακόμα και κατά την διάρκεια μεταξύ των εποχικών περιόδων όπως συμβαίνει αντίστοιχα π.χ. κατά την διάρκεια μεταξύ του καλοκαιριού και του χειμώνα και συνήθως προσδιορίζονται για μια χρονική περίοδο αρκετών μηνών ή ετών. Τα ποσοστά χρόνου χρήσης της ενέργειας αντικατοπτρίζουν συνήθως τους μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς πελάτες ((Commercial and Industrial, (C/I)) και απαιτούν μετρητές που καταγράφουν αθροιστική χρήση της ενέργειας κατά την διάρκεια των διαφορετικών αυτών χρονικών ορίων.

- ((Real Time Pricing, (RTP)): Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται στην τιμολόγηση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και αντικατοπτρίζει ένα ποσοστό στο οποίο η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος διαφοροποιείται συνήθως ανά ώρα, αντανακλώντας τις αλλαγές που γίνονται στην χονδρική τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτές οι τιμές της ενέργειας που βασίζονται σε πραγματικό χρόνο συνήθως γίνονται γνωστές στους πελάτες είτε κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά ακόμα είτε και κατά την διάρκεια της ώρας, πράγμα που επιβάλλει έτσι την συχνή επικοινωνία μεταξύ των τελικών χρηστών δηλαδή των καταναλωτών και των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας.
- ((Critical Peak Pricing, (CPP)): Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται στην υψηλή τιμολόγηση της ενέργειας πράγμα που παραπέμπει στις κρίσιμες περιόδους όπου παρουσιάζεται αιχμή σε σχέση με την ζήτηση για ενέργεια στο σύστημα και περιλαμβάνει ένα προκαθορισμένο υψηλό ποσοστό για χρήση της ενέργειας μέσω του βοηθητικού αυτού προγράμματος, λόγω αυτής της κρίσιμης περιόδου της αιχμής. Τα συμβάντα μέσα σε ένα ((Critical Peak Pricing, (CPP)) πρόγραμμα, ενδέχεται να προκληθούν από τις υψηλές τιμές που αντιμετωπίζει το βοηθητικό πρόγραμμα για την παροχή χονδρικής ισχύος στην αγορά, ανάλογα με τον σχεδιασμό του προγράμματος. Αυτά τα ποσοστά υψηλής τιμολόγησης κατά την διάρκεια αιχμής της ζήτησης για ενέργεια που προβάλλουν αυτά τα προγράμματα ((Critical Peak Pricing, (CPP)), ενδέχεται να επιβάλλονται υπερβολικά είτε σε προγράμματα ((Time of Use,

(ToU)), τα οποία όπως προαναφέραμε αναφέρονται στην διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας, είτε σε αμετάβλητη τιμή και καλούνται σχετικά σύντομα για περιορισμένο αριθμό ημερών ή και ωρών ανά έτος. Οι πελάτες αυτών των προγραμμάτων συνήθως λαμβάνουν μια έκπτωση στην τιμή κατά την διάρκεια περιόδων μη αιχμής της ζήτησης στο σύστημα.

Σε σχέση τώρα με τα προγράμματα της δεύτερης κατηγορίας που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), βασιζόμενα στην φιλοσοφία λειτουργίας βάσει κινήτρων, αντιπροσωπεύουν τις ρυθμίσεις οι οποίες έχουν οριστεί από τους υπεύθυνους χάραξης ενεργειακής πολιτικής, τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου ηλεκτροδότησης αλλά και τους φορείς εξυπηρέτησης των φορτίων όπως π.χ. αποτελούν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και λιανικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες μειώσεις στην ζήτηση των καταναλωτών κυρίως κατά την διάρκεια των κρίσιμων στιγμών του δικτύου όπως π.χ. αποτελεί η αιχμή στην ζήτηση. Αυτά τα προγράμματα μπορούν και προσφέρουν στους συμμετέχοντες πελάτες κίνητρα για να μειώσουν το φορτίο τους το οποίο είναι ξεχωριστό από το επιτόκιο της λιανικής χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας αυτών των πελατών, το οποίο μπορεί να είναι είτε σταθερό βάσει του μέσου κόστους, είτε να διαφέρει με τον χρόνο, δηλαδή κυμαινόμενο.

Η μορφή αυτών των κινήτρων μπορεί να αναφέρεται είτε στην επιβολή ρητών πιστώσεων των λογαριασμών των πελατών, είτε βάσει συμβολαίων τα οποία βέβαια θα προσδοκούν σε μειώσεις των φορτίων των καταναλωτών όταν αυτό τους ζητηθεί. Τόσο η εγγραφή όσο και η ανταπόκριση των πελατών έχουν εθελοντικό χαρακτήρα, βέβαια υπάρχουν και ορισμένα προγράμματα που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση τα οποία επιβάλλουν κυρώσεις σε πελάτες οι οποίοι να μην κάνουν εγγραφή αλλά δεν ανταποκρίνονται ή δεν είναι συνεπείς στις δεσμεύσεις για τις οποίες έχουν συμφωνήσει (U.S. Department of Energy, 2006; Saad & Shahid, 2016).

Τα προγράμματα που ανήκουν στην κατηγορία ανταπόκρισης στην ζήτηση βάσει κινήτρων είναι τα εξής:

- ((Direct load control, (DLC)): Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται στον άμεσο έλεγχο του φορτίου, όπου ο πάροχος μπορεί και διενεργεί τόσο την λειτουργία του βοηθητικού προγράμματος όσο και της διαχείρισης του συστήματος ή ακόμα και την ενεργοποίηση κάποιου ηλεκτρικού εξοπλισμού ενός πελάτη όπως π.χ. αποτελεί η

χρήση ενός κλιματιστικού ή ενός θερμοσίφωνα σε σύντομο χρονικό διάστημα για την αντιμετώπιση τόσο των απρόβλεπτων καταστάσεων όσο και της τοπικής αξιοπιστίας του συστήματος με την εξ αποστάσεως διαδικασία λειτουργίας. Οι πελάτες έτσι λαμβάνουν συχνά μια πληρωμή συμμετοχής, συνήθως υπό την μορφή μιας πίστωσης στον λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά προγράμματα παρέχουν στους πελάτες την επιλογή της παράκαμψης ή ακόμα και της εξαίρεσης από την ενέργεια αυτού του ελέγχου. Ωστόσο αυτές οι ενέργειες σχεδόν πάντα μειώνουν τις πληρωμές κινήτρων των πελατών. Τα προγράμματα άμεσου ελέγχου του φορτίου αντιπροσωπεύουν κυρίως οικιακούς ή ακόμα και μικρούς εμπορικούς πελάτες.

- ((Interruptible/curtailable, (I/C)) service: Αυτό το πρόγραμμα είναι ενσωματωμένο στο τιμολόγιο του πελάτη που παρέχει έκπτωση τόσο στο επιτόκιο όσο και στην πίστωση που αφορά τον λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος για την αποδοχή της μείωσης του φορτίου. Συνήθως αναφέρεται σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο παροχής υπηρεσιών ((Firm Service Level, (FSL)), και αναφέρεται στην αποκοπή, δηλαδή στην μείωση του φορτίου κατά την διάρκεια των κρίσιμων περιόδων και αναγκών του συστήματος. Οι πελάτες που δεν ανταποκρίνονται σε αυτές τις μειώσεις του φορτίου τους υποβάλλονται συνήθως σε κυρώσεις υπό την μορφή πολύ υψηλών τιμών χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που τίθενται σε ισχύ κατά την διάρκεια συμβάντων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης ή ακόμα ενδέχεται και να διαγραφούν από το πρόγραμμα. Τα προγράμματα με δυνατότητα διακοπής αντιπροσωπεύουν αποκλειστικά τους μεγαλύτερους βιομηχανικούς και εμπορικούς πελάτες.
- Demand Bidding/Buyback Programs: Αυτά τα προγράμματα αποσκοπούν είτε στο να ενθαρρύνουν τους μεγάλους πελάτες να υποβληθούν σε μια διαδικασία προσφορών στα πλαίσια μιας χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και προσφέρουν μειώσεις στα επίπεδα του φορτίου σε μια τιμή στην οποία βέβαιοι είναι πρόθυμοι να ανταποκριθούν, είτε στο να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να προσδιορίσουν το ποσό του φορτίου στο οποίο θα είναι διατεθειμένοι να περιορίσουν ανταποκρινόμενοι σε μια τιμή που έχει οριστεί. Στους πελάτες των οποίων οι προσφορές που σχετίζονται με την μείωση του φορτίου και οι οποίες γίνονται αποδεκτές θα πρέπει να υποβάλλονται σε μειώσεις του φορτίου σύμφωνα με την σύμβαση αλλιώς σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να επιβάλλονται ποινές.

- **Emergency Demand Response Programs:** Αυτά τα προγράμματα αποσκοπούν σε παροχές μέσω κινήτρων υπό την μορφή οικονομικής επιβράβευσης μόνο στις περιπτώσεις όπου οι καταναλωτές συμβιβάζονται με τις μειώσεις του φορτίου, οι οποίες βέβαια είναι αποδεδειγμένα μετρημένες και αναφέρονται σε μειώσεις φορτίου κατά την διάρκεια κρίσιμων περιόδων του συστήματος όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση της αιχμής της ζήτησης για ενέργεια και η οποία βέβαια απειλεί άμεσα και την αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης τα προγράμματα που αναφέρονται στην αντιμετώπιση της ζήτησης κατά την διάρκεια εκτάκτων αναγκών δεν αποσαφηνίζουν με ακρίβεια την επιβολή ή όχι κυρώσεων σε περιπτώσεις όπου οι εγγεγραμμένοι πελάτες δεν ανταποκρίνονται σε αυτές τις μειώσεις.
- **Capacity Market Programs:** Αυτά τα προγράμματα έχουν αντίκτυπο συνήθως σε καταναλωτές οι οποίοι θα είναι σε θέση να δεσμευτούν ότι θα ανταποκριθούν στις όποιες προκαθορισμένες μειώσεις των φορτίων τους λόγω των ενδεχόμενων κρίσιμων περιόδων αξιοπιστίας του συστήματος. Οι καταναλωτές και συνάμα χρήστες αυτών των προγραμμάτων συνήθως λαμβάνουν μια ειδοποίηση για τα διάφορα συμβάντα κατά την διάρκεια της ημέρας. Τα κίνητρα αναφέρονται συνήθως σε προκαταβολικές πληρωμές κρατήσεων, οι οποίες καθορίζονται από τις εκάστοτε τιμές της αγοράς βάσει της ικανής διαθέσιμης ενέργειας αλλά και από πρόσθετες ενεργειακές πληρωμές λόγω μειώσεων του φορτίου κατά την διάρκεια εκδηλώσεων των συμβάντων οι οποίες βέβαια αφορούν ορισμένα προγράμματα. Τα προγράμματα αυτής της κατηγορίας συχνά συνεπάγονται με σημαντικές κυρώσεις για τους πελάτες που δεν ανταποκρίνονται όταν τους ζητηθεί.
- **Ancillary Services Market Programs:** Αυτά τα προγράμματα που αναφέρονται στην αγορά βοηθητικών υπηρεσιών και παρέχουν την δυνατότητα στους πελάτες να υποβάλλουν προσφορές που σχετίζονται με τις μειώσεις των φορτίων τόσο στις αγορές ((Independent System Operator Response, (ISO))/ ((Regional Transmission Organizations, (RTO))), οι οποίες έχουν ως λειτουργία την αξιολόγηση όλων των προσφορών ώστε να βρεθεί ο πιο αποτελεσματικός συνδυασμός πόρων για την κάλυψη όλων των αναγκών του συστήματος όσο και των διαχειριστών του και αποτελεί μια διαδικασία για την ύπαρξη αποθεμάτων ενέργειας για την κάλυψη των διαφόρων απαιτήσεων και καταστάσεων. Στην συνέχεια σε περίπτωση που αυτές οι προσφορές των διαφόρων πελατών γίνονται αποδεκτές, πληρώνεται η τιμή αγοράς

για την δέσμευση ώστε να βρίσκεται σε μια κατάσταση αναμονής. Εάν απαιτούνται περικοπές του φορτίου, καλούνται τότε από το σύστημα διαχείρισης των αγορών ((Independent System Operator Response, (ISO))/ ((Regional Transmission Organizations, (RTO)) να καταβληθεί αυτή η τιμή ενέργειας της αγοράς (U.S. Department of Energy, 2006; Saad & Shahid, 2016).

## **6.6 Η έννοια και οι στόχοι απο την εφαρμογή της διαχείρισης της ζήτησης (DSM)**

Η έννοια της ιδέας της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), εμφανίστηκε μετά την ενεργειακή κρίση του 1974 και συγκεκριμένα άρχισε να μελετάται από την δεκαετία του 1980 και συνεχίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όπου χρησιμοποιεί λύσεις όπως π.χ. είναι η μείωση του ημερήσιου μέγιστου φορτίου καθώς επίσης υπήρξαν μεταξύ άλλων και σχετικές εκθέσεις κατόπιν συγκεκριμένων ερευνών που σχετίζονταν με το συγκεκριμένο θέμα και δημοσιεύθηκαν από το Ινστιτούτο Ερευνών Ηλεκτρικής Ισχύος ((Electric Power Research Institute, (EPRI)), αλλά και την Εταιρεία Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας της Βόρειας Αμερικής ((North American Electric Reliability Corporation, (NERC)). Σύμφωνα με τα λεγόμενα του Ινστιτούτου Ερευνών Ηλεκτρικής Ισχύος ((Electric Power Research Institute, (EPRI)), η έννοια της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), ορίζεται ως μια σειρά μέτρων που στοχεύουν στο να ενθαρρύνουν συγκεκριμένες ομάδες πελατών να τροποποιήσουν τα μοτίβα χρήσης της ενέργειας τους με τρόπο που να συνάδει με τους αντίστοιχους στόχους του βοηθητικού προγράμματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), διατηρώντας ή αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών (Kailas et al., 2012).

Το σύστημα της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), αποτελεί ένα μέτρο που σχετίζεται με την μείωση του φορτίου από την πλευρά της ζήτησης και αναφέρεται στους καταναλωτές και στην αλλαγή των προτύπων κατανάλωσης της ενέργειας τους αποσκοπώντας σε μια συνολική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του συστήματος ενέργειας αλλά και σωστής κατανομής της ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης συμβάλει και στην διασφάλιση της αξιοπιστίας από την πλευρά της προσφοράς που αναφέρεται στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τέλος προσδοκά και στην επίτευξη ωφελειών και για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

Συμπληρωματικά στα ήδη αναφερθέντα στοιχεία προστίθεται ότι η διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), έχει ως στόχους:

1. Την διασφάλιση της αποτελεσματικότητας του συστήματος μέσω της ρύθμισης του φορτίου για την (αποφυγή βλαβών), στις τρέχουσες συνθήκες εργασίας του συστήματος ισχύος μέσω της μείωσης των μέγιστων φορτίων αιχμής (peak shaving).
2. Την μείωση του κόστους από την πλευρά των διαχειριστών του δικτύου.
3. Προσβλέπει και σε μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας για τους καταναλωτές μέσω της μετατόπισης των φορτίων μεταξύ διαφορετικών ωρών κατά την διάρκεια της ημέρας (peak shifting).
4. Την προώθηση των ΑΠΕ και της διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας.
5. Την αύξηση των φορτίων κατά τη διάρκεια των valleys (valley filling), τα οποία αναφέρονται στην προσαρμογή αύξησης της κατανάλωσης της ενέργειας κατά τις περιόδους μη αιχμής της ζήτησης, για τα οποία γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6.7.

Έτσι βάσει των προηγούμενων στοιχείων μπορούμε να καταλάβουμε πως ως βασικός σκοπός λοιπόν του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), αποτελεί η ενθάρρυνση των καταναλωτών να χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια, κατά την διάρκεια περιόδων όπου επικρατεί αυξημένη ζήτηση για ενέργεια, δηλαδή τις ώρες αιχμής, ενώ από την άλλη πλευρά τους προτρέπει να αυξήσουν την κατανάλωση της ενέργειας τους κατά την διάρκεια περιόδων μη αιχμής του φορτίου ενέργειας. Όπως παρουσιάστηκε από τους (Hayes κ.α. ερευνητές), η εφαρμογή μηχανισμών που αναφέρονται στην διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), μπορεί να φέρουν αισθητά αποτελέσματα. Η δυνατότητα εφαρμογής τέτοιων μηχανισμών αυξάνει την ανάπτυξη των (ΑΠΕ), που εργάζονται σε μεμονωμένους παραλήπτες και την εφαρμογή του μοντέλου του (prosumer), δηλαδή του καταναλωτή. Το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), στην περίπτωση του μεμονωμένου καταναλωτή βασίζεται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), το οποίο με την σειρά του βασίζεται στην μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας (Chojacki et al., 2020).

Κομμάτι των παραγόντων που βοήθησε στην ανάδειξη του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), αποτελεί κυρίως ο παράλληλος συσχετισμός μεταξύ τόσο της υπερβολικής αύξησης που σημειώθηκε σε σχέση πάντα με



την ζητούμενη ποσότητα ενέργειας, όσο και του γεγονότος που έχει να κάνει με την μείωση της διαθέσιμης ποσότητας από την χρήση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων όπως π.χ. αποτελεί το πετρέλαιο. Η διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), επικεντρώνεται στις τεχνικές σχεδιασμού, υλοποίησης και αξιολόγησης συμπεριλαμβανομένων βέβαια και της πολιτικής αλλά και των μέτρων που αποσκοπούν και εστιάζουν τόσο στην ενθάρρυνση όσο και στην ώθηση των πελατών σε μια τροποποίηση του προφίλ κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας τους, όσον αφορά τα πρότυπα του χρόνου χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και του επίπεδου της ζήτησης. Κύριος στόχος της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), αποτελεί τόσο η μείωση της καταναλώμενης ενέργειας η οποία έχει να κάνει με την ζήτηση της ενέργειας όσο και της μείωσης των περιόδων του συστήματος όπου επικρατεί αιχμή της ζήτησης για ενέργεια.

Οι πρωτοβουλίες που λαμβάνονται και σχετίζονται τόσο για την αντιμετώπιση της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) όσο και για την διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), μπορούν να ωφελήσουν είτε τους πελάτες, είτε τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, είτε και ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο. Για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά μπορεί να ειπωθεί:

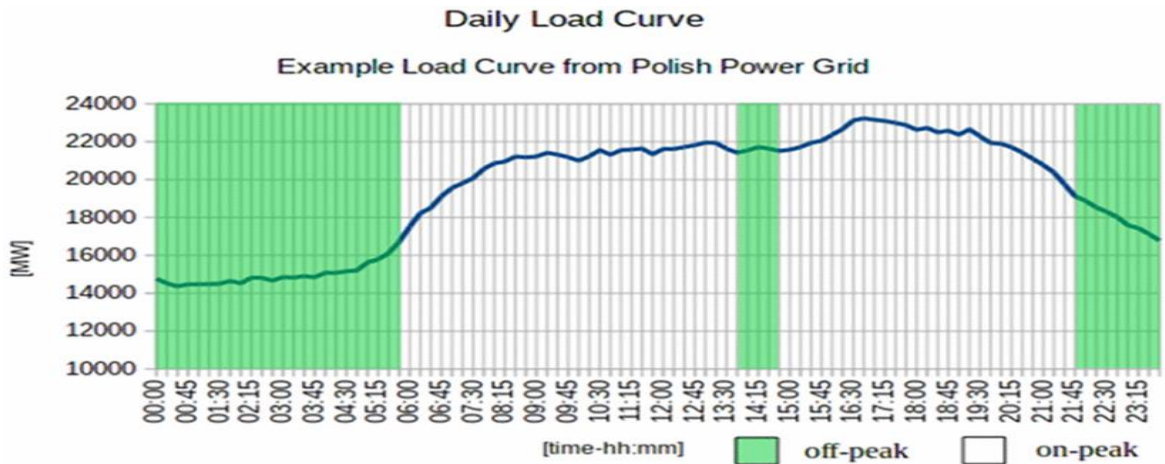
1. Πρώτον από την πλευρά των πελατών, αυτά τα προγράμματα μπορούν να συμβάλουν σε μειώσεις των λογαριασμών χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος.
2. Δεύτερον από την πλευρά της χρησιμότητας, εκτός βέβαια από την μείωση του κόστους προμήθειας το οποίο αφορά παράγοντες όπως π.χ. είναι της παραγωγής, της μετάδοσης αλλά και της διανομής, στα οφέλη επίσης μπορούν να προστεθούν και παράγοντες που αναφέρονται στην βελτίωση της λειτουργικότητας, της αξιοπιστίας των συστημάτων, αλλά και για τον προγραμματισμό και την πρόβλεψη του φορτίου.
3. Τρίτον από την πλευρά του κοινωνικού συνόλου θα υπάρξει όφελος από την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της μείωσης τόσο της κατανάλωσης της ενέργειας όσο και της αιχμής της ζήτησης, καθώς επίσης και από την αποφυγή της επέκτασης της παραγωγικής ικανότητας του δικτύου (Kailas et al., 2012). Στον Πίνακα 5 αναδεικνύονται τα μεγάλα οφέλη της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))).

Πίνακας 5. Οφέλη της διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))).

Customer benefits	Utility benefits	Societal benefits
Satisfy demand for electricity	Lower cost of service	Conserve resources
Reduce costs	Improve efficiency and flexibility	Reduce environmental impact
Improve service	Reduce capital needs	Protect environment
Improve lifestyle and productivity	Improve customer service	Maximize customer welfare

Source: (Kailas et al., 2012).

Οι διακυμάνσεις των τιμών της ενέργειας υποτίθεται ότι ενθαρρύνουν τους καταναλωτές στο να αλλάξουν την τρέχουσα ενεργειακή τους ζήτηση. Τα τιμολόγια που αναφέρονται στην μεταβλητή τιμή τιμολόγησης της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο ((Real Time Pricing, (RTP)) αλλά και στον χρόνο χρήσης της ενέργειας ((Time of Use, (ToU))), αποτελούν τα νέα ενεργειακά τιμολόγια. Ο Khan (2011) παρουσίασε αναλυτικά σενάρια, ενεργειακά τιμολόγια και αλγόριθμους που αναφέρονται στην διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))). Εδώ η τιμολόγηση αναφέρεται στον χρόνο χρήσης της ενέργειας ((Time of Use Pricing, (ToU)) και χωρίζει την ημέρα σε διαφορετικές ζώνες τιμών. Οι τιμές της ενέργειας κατά το μέγιστο φορτίο είναι πολύ υψηλότερες από ότι είναι σε άλλες περιόδους. Οι τιμές της ενέργειας που βρίσκονται εκτός του φορτίου αιχμής είναι χαμηλές, σε αντίθετη περίπτωση είναι υψηλές, κάτι που μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να αλλάξουν την μέγιστη ζήτηση τους σε χρονικές περιόδους εκτός αιχμής. Περίπτωση που αναφέρεται σε τιμολόγιο βάσει του χρόνου χρήσης της ενέργειας ((Time of Use, (ToU))), με δύο ζώνες απεικονίζεται στο Σχήμα 6.6.1. Οι ζώνες με την πράσινη σήμανση αποτελούν την μέση χρονική περίοδο κατά την διάρκεια της ημέρας στην οποία η ενέργεια για έναν δέκτη είναι φθηνότερη από οποιαδήποτε άλλη περίοδο. Η ενέργεια στις πράσινες ζώνες μπορεί να είναι δύο φορές φθηνότερη από ότι μπορεί να είναι σε άλλη περίοδο.

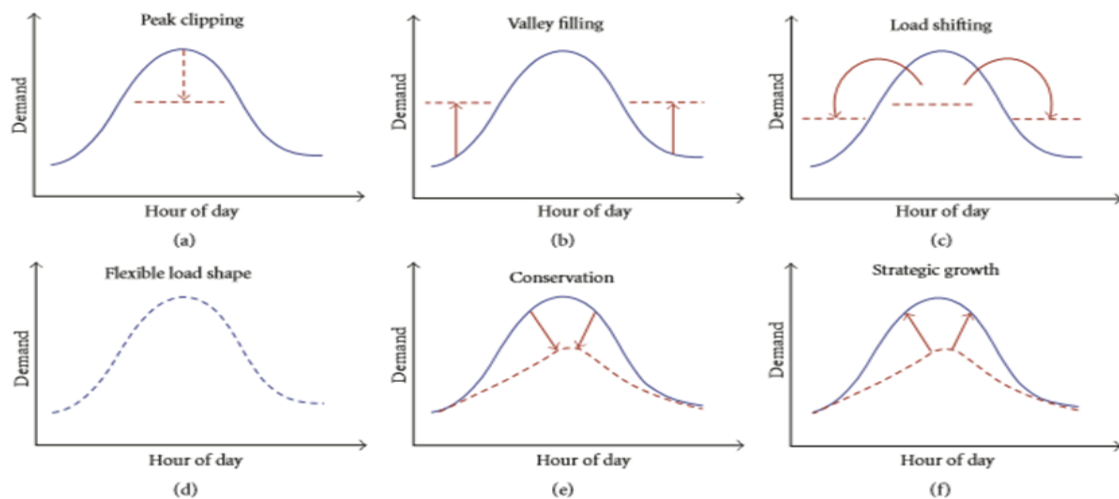


Σχήμα 6.6.1 Ημερήσια ζήτηση ενέργειας του συστήματος ισχύος και των τιμολογιακών ζωνών βάσει του χρόνου χρήσης της ενέργειας ((Time of Use, (ToU)). Source: (Chojecki et al., 2020).

Η αποτελεσματική εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), αλλάζει τον χρόνο κατανάλωσης του φορτίου αλλά και το συνολικό φορτίο του βοηθητικού προγράμματος, μειώνοντας έτσι με αυτόν τον τρόπο τα αναμενόμενα μέγιστα φορτία. Για να μειωθεί το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, το σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)), χειρίζεται τα πρότυπα χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών ώστε να παράγει τις προτιμώμενες αλλαγές στα προφίλ φορτίου αλλάζοντας το σχήμα του φορτίου του δικτύου διανομής ισχύος. Ουσιαστικά το σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)), βοηθά στην αποφυγή της υπερβολικής παραγωγής ενέργειας, μειώνοντας τα μέγιστα φορτία και οδηγώντας τόσο σε μείωση του λειτουργικού κόστους όσο και των κεφαλαιουχικών δαπανών (Kailas et al., 2012).

### 6.7 Κατηγοριοποίηση του συστήματος (DSM) σύμφωνα με τη χρήση της ενέργειας

Το σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)), μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε έξι βασικούς τύπους ανάλογα με την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, με λίγα λόγια γίνεται αναφορά τόσο στην διαχείριση των φορτίων όσο και στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα του συστήματος. Στο Σχήμα 6.7.1 αναδεικνύονται αυτοί οι στόχοι.



Σχήμα 6.7.1 Διαχείριση της ζήτησης των φορτίων και ενεργειακή αποτελεσματικότητα.  
Source: (U.S. Department of Energy, 2006).

Κάτω από τους στόχους διαχείρισης του φορτίου αναλύονται τα εξής:

- 1) Peak Clipping: Το οποίο αναφέρεται στο αποκορύφωμα της αποκοπής και αφορά μια κοινή μορφή τεχνικής διαχείρισης του φορτίου, όπου ως στόχο έχει την μείωση της μέγιστης ζήτησης για ενέργεια που επικρατεί σε ένα δίκτυο, δηλαδή αναφέρεται στις περιόδους μέγιστης αιχμής της ζήτησης για ενέργεια. Συνήθως, το Peak clipping ελέγχει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών μέσω του άμεσου ελέγχου του φορτίου ((Direct load control, (DLC)), το οποίο εξηγεί κυρίως την μείωση του φορτίου αιχμής του συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Ο άμεσος έλεγχος του φορτίου ((Direct load control, (DLC)), μπορεί να οριστεί ως συνάρτηση του προγράμματος ((Demand Site Management, (DSM)), με το οποίο μια εταιρεία παροχής ηλεκτρικού ρεύματος θα μπορεί να ρυθμίζει τις συσκευές των πελατών από απόσταση. Ο σωστός προγραμματισμός του άμεσου ελέγχου του φορτίου ((Direct load control, (DLC)), θεωρείται ως ένας ευνοϊκός τρόπος για την μείωση του κόστους λειτουργίας και της χρήσης των ορυκτών καυσίμων.
- 2) Valley Filling: Το οποίο αναφέρεται στην εφαρμογή αύξησης της κατανάλωσης της ενέργειας κατά τις περιόδους μη αιχμής της ζήτησης, με σαφή στόχο την βελτίωση του συντελεστή του φορτίου αλλά και για την επίτευξη μιας ισορροπίας στο σύστημα.
- 3) Load Shifting: Το οποίο αναφέρεται στην μετατόπιση του φορτίου και αποτελεί έναν συνδυασμό μεταξύ του Peak Clipping και του Valley Filling, ο οποίος αποσαφηνίζει το γεγονός ότι θα πρέπει να υπάρξει μείωση της ζήτησης για ενέργεια κατά τις περιόδους

όπου εμφανίζεται αιχμή ζήτησης στο σύστημα, ενώ αντίθετα παραπέμπει σε αύξηση της ζήτησης για ενέργεια κατά τις περιόδους μη αιχμής της ζήτησης.

4) Strategic conservation: Η στρατηγική διατήρησης, μειώνει την συνολική ζήτηση του φορτίου μέσω της εφαρμογής διαδικασιών μείωσης του φορτίου με την αποδοτική κατανάλωση της ενέργειας. Σχεδιάζει και επιτυγχάνει το επιθυμητό σχήμα του φορτίου σύμφωνα με το σχεδιασμό, την διανομή αλλά και τη διαχείριση του συστήματος δικτύου.

5) Strategic load growth: Η στρατηγική αύξησης του φορτίου, παρακινεί τις εταιρείες παραγωγής ενέργειας να αυξήσουν την παραγωγή της ενέργειας για τους πελάτες. Βελτιστοποιεί την καθημερινή απόκριση και αλλάζει το σχήμα του φορτίου σε σχέση με την μεγάλη ζήτηση πέρα από την τεχνική valley filling. Οι δραστηριότητες της στρατηγικής αύξησης του φορτίου περιλαμβάνουν την ενίσχυση του μεριδίου αγοράς των φορτίων, την οικονομική ανάπτυξη των περιοχών εξυπηρέτησης αλλά και την εγγύηση της απαραίτητης υποδομής για την διαχείριση της ζήτησης του φορτίου.

6) Flexible load shape: Η τεχνική του ευέλικτου σχήματος του φορτίου, διασφαλίζει κυρίως την αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου ((Smart Grid, (SG)). Σύμφωνα με αυτήν την τεχνική, μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αναλύει το προφίλ του φορτίου για να αναγνωρίσει τους πελάτες μέσα από τα ευέλικτα φορτία. Οι πελάτες επιβραβεύονται με διάφορα κίνητρα, εάν ελέγχουν την κατανάλωσή τους από το διακοπτόμενο ή το σκληρό φορτίο κατά τις περιόδους αιχμής. Πρόσφατα οι κυβερνήσεις αλλά και οι εταιρείες κοινής ωφελείας έχουν επικεντρωθεί στην εφαρμογή των στρατηγικών ((Demand Site Management, (DSM)), που εξομαλύνουν την λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων, ενώ παράλληλα προωθούν και επεκτείνουν τα σχέδια αλλά και τις εφαρμογές που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση ((Energy Efficiency, (EE)), και συνάμα αλλάζουν την συμπεριφορά σε επίπεδο πελάτη ή εφαρμόζουν δυναμικά λειτουργία ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Το σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)), έχει τέσσερις στρατηγικές, το ((Demand Response, (DR)), την ((Energy Efficiency, (EE)), το ((Spinning Reserve, (SR)) και το ((Time-of-use, (ToU)), το οποίο αναφέρεται στην διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας. Η κύρια έμφαση αυτών των στρατηγικών έγκειται στην ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, νομισματικών κινήτρων, τιμής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και κυβερνητικών πολιτικών για την μείωση των

αιτήσεων αιχμής του φορτίου και την διατήρηση ενός εκλεπτυσμένου συγχρονισμού μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης του δικτύου και των πελατών (Sarker et al., 2020).

- ((Energy Efficiency, (EE)): Η ενεργειακή απόδοση, συνεπάγεται με την μείωση της συνολικής χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή διαφορετικά με την αλλαγή του τρόπου διαχείρισης και κατανάλωσης της ενέργειας όπως π.χ. συμβαίνει μέσω της χρήσης των έξυπνων συσκευών, οι οποίες πέραν του γεγονότος ότι είναι πιο οικονομικές, συνάμα είναι και πιο φιλικές έναντι του περιβάλλοντος. Τα προγράμματα που αναφέρονται στην ενεργειακή απόδοση βελτιώνουν την φυσική υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου σε ότι αφορά την βελτίωση της απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της μείωσης της μέγιστης ζήτησης.
- ((Time-of-use, (ToU)): Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται στην διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας δηλαδή όλου του 24ώρου. Οι τιμές του προγράμματος ((Time-of-use, (ToU)), σχετίζονται με τον χρόνο χρήσης της ενέργειας αντικατοπτρίζουν το μέσο κόστος παραγωγής αλλά και παροχής ισχύος της ενέργειας κατά την διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων. Τα ποσοστά μέσω της χρήσης του προγράμματος ((Time-of-use, (ToU)), συχνά διαφέρουν ανάλογα με την ώρα της ημέρας όπως συμβαίνει αντίστοιχα π.χ. κατά την διάρκεια μεταξύ των περιόδων αιχμής και μη αιχμής του συστήματος ή ακόμα και κατά την διάρκεια μεταξύ των εποχικών περιόδων όπως αποτελεί π.χ. η περίπτωση κατά την διάρκεια μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα και συνήθως προσδιορίζονται για μια χρονική περίοδο αρκετών μηνών ή ετών. Τα ποσοστά χρόνου χρήσης της ενέργειας αντικατοπτρίζουν συνήθως τους μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς πελάτες ((Commercial and Industrial, (C/I)) και απαιτούν μετρητές που καταγράφουν αθροιστική χρήση της ενέργειας κατά την διάρκεια των διαφορετικών αυτών χρονικών ορίων. Τέλος αυτή η στρατηγική συμβάλλει στον έλεγχο της τιμολόγησης της περιόδου αιχμής και της εποχιακής τιμολόγησης βασιζόμενη στις διαφορετικές τιμές της ενέργειας.
- ((Demand response, (DR)): Το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand response, (DR)), αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο τιμολόγιο ή πρόγραμμα, το οποίο αποσκοπεί στην μείωση ή την μετατόπιση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής σε σχέση με τις τιμές βάσει του χρόνου ή των προγραμμάτων παροχής κινήτρων. Η αξιοπιστία του δικτύου ενός ηλεκτρικού συστήματος τίθεται σε

κίνδυνο λόγω ορισμένων συνθηκών, όπως π.χ. αποτελεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση που συμβαίνει κατά τις περιόδους αιχμής ή λόγω των υψηλών τιμών της ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand response, (DR)), αλλάζει το μοτίβο χρήσης της ενέργειας και παρέχει την ευκαιρία στους καταναλωτές να συμβάλουν στην λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand response, (DR)), μπορούν να ταξινομηθούν σε προγράμματα που βασίζονται στις τιμές και σε προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα όπως αποτυπώθηκαν στο Κεφάλαιο 6.5. (Sarker et al., 2020).

- Spinning reserve: Το ((Spinning reserve, (SR)), αναφέρεται στην εφεδρική ισχύ που συνδέεται με το σύστημα δικτύου, το οποίο ενεργοποιείται από τον διαχειριστή του συστήματος για να διατηρήσει την ισορροπία μεταξύ του φορτίου και της παραγωγής σε περίπτωση ξαφνικής πτώσης της παραγωγής. Η διακοπή της τροφοδοσίας οφείλεται είτε σε απροσδόκητη ζημιά στις μονάδες παραγωγής, αλλά είτε και σε εσφαλμένη πρόβλεψη και προγραμματισμού του φορτίου. Συνήθως το ((Spinning reserve, (SR)), ταξινομείται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη περίπτωση ((Spinning reserve, (SR)), η συχνότητα ελέγχει την έξοδο της ενεργού ισχύος, ενώ στην δεύτερη περίπτωση του ((Spinning reserve, (SR)), η συχνότητα αλλά και η κατάσταση του δικτύου αποκαθίστανται με πρόσθετη ενεργή ισχύ (Sarker et al., 2020).

### **6.8 Διάκριση μεταξύ των εννοιών (DR) & (DSM)**

Έχοντας μια γενική ιδέα μεταξύ των δύο αυτών εννοιών, δηλαδή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) και του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)) μπορούμε να παραθέσουμε τις μεταξύ τους διακρίσεις-διαφορές:

α) Ο όρος της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), είναι πλέον ευρέως γνωστός και παραπέμπει στις ενέργειες που γίνονται σήμερα για να επέλθει ομαλή ενεργειακή κάλυψη των αναγκών των χρηστών σε συνδυασμό πάντα με τις ανάλογες συνθήκες που επικρατούν τόσο στο δίκτυο όσο και στο κομμάτι που σχετίζεται με την επίδραση λόγω της ύπαρξης εξωτερικών παραγόντων. Έτσι κατά την διάρκεια ορισμένων επιπλοκών που λαμβάνουν μέρος στο υπάρχον δίκτυο όπως π.χ. συμβαίνει με τις περιπτώσεις οι οποίες είτε έχουν να κάνουν με την ανεπάρκεια της ενέργειας που

εμφανίζεται στο κομμάτι της παραγωγής, είτε και με τις διάφορες επικείμενες διακοπές που γίνονται και αφορούν το λειτουργικό κομμάτι του δικτύου, καθώς επίσης και οι εμφανίσεις των περιόδων όπου παρατηρείται μεγάλη αιχμή της ζήτησης για ενέργεια κ.α., οι οποίες θέτουν βέβαια με την σειρά τους στους παρόχους υπηρεσιών όπως π.χ. είναι οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, ως στόχο να τροποποιήσουν με κάποιο τρόπο τα προφίλ φορτίου των πελατών τους προκειμένου να μετριάσουν έτσι τα διάφορα ζητήματα που επικρατούν στο δίκτυο. Συνηθισμένη περίπτωση αποτελεί η πρόθεση για μείωση της καταναλώμενης ενέργειας από τον πελάτη. Τέτοιες ενέργειες γίνονται από τον πάροχο υπηρεσιών και μάλιστα υπό την μορφή κάποιου σήματος το οποίο αφορά την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) και εν συνεχεία αποστέλλεται στον πελάτη.

Τα σήματα που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), μπορούν να έχουν πολλές μορφές ανάλογα βέβαια με τον σχεδιασμό του προγράμματος που αναφέρεται στην ανταπόκριση της ζήτησης, συμπεριλαμβανομένων βέβαια και κάποιων κινήτρων όπως π.χ. είναι η τιμή της ενέργειας, του άμεσου ελέγχου του φορτίου κ.α. Έχοντας έτσι αυτά τα στοιχεία ως δεδομένα κατά την διαδικασία απόκρισης λήψης ενός σήματος το οποίο αναφέρεται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), ο πελάτης εφαρμόζει κάποιου είδους στρατηγικής σε σχέση με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), για να μπορέσει με αυτόν τον τρόπο να επιτύχει τροποποίηση στο προφίλ φορτίου του.

β) Ο όρος της διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), αποτελεί έναν γενικότερο όρο που περιλαμβάνει το κομμάτι της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), καθώς και άλλες μεθόδους που αφορούν την τροποποίηση της κατανάλωσης της ζήτησης για ενέργεια όπως είναι η περίπτωση της ενεργειακής απόδοσης αλλά και τα προγράμματα αλλαγής συμπεριφοράς.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενο σημείο η έννοια του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), περιλαμβάνει στοιχεία όπως αυτό της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) όσο και της ενεργειακής αποδοτικότητας ((Energy Efficiency, (EE))). Η διαφοροποίηση ανάμεσα σε αυτές τις δύο έννοιες είναι δύσκολη, ωστόσο υπάρχουν κάποια στοιχεία που τις διαχωρίζουν (Κουπριτζιώτη & Μουσενίκας, 2015).



- Τα προγράμματα ((Demand Site Management, (DSM)), στοχεύουν στην προώθηση του καταναλωτή προς μια κατεύθυνση πιο ορθολογικής χρήσης της ενέργειας με απώτερο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας όλο το 24ωρο. Εφικτές κινήσεις που μπορούν να υλοποιηθούν από την πλευρά του καταναλωτή αποτελεί η ενεργειακή αναβάθμιση της κατοικίας του, η αντικατάσταση των παλαιών συσκευών με καινούριες προηγμένης τεχνολογίας και απόδοσης, η χρησιμοποίηση λαμπτήρων φθορισμού έναντι των πυρακτώσεως κ.α. Υπό την αντίθετη πλευρά, τα προγράμματα ((Demand Response, (DR)), ωθούν τον καταναλωτή να προβεί σε μειώσεις κατανάλωσης χρήσης της ενέργειας του σε συγκεκριμένες περιόδους π.χ. περίοδοι αιχμής, επείγουσες καταστάσεις που απειλούν την αξιοπιστία του δικτύου κ.α. Αυτό δεν οδηγεί πάντοτε σε συνολική μείωση της καταναλώμενης ενέργειας αφού συνήθως οι καταναλωτές που ανταποκρίνονται στις αντίστοιχες περιόδους, περικόπτουν φορτία αλλά παράλληλα μετατοπίζουν την κατανάλωση σε άλλες χρονικές περιόδους μέσα στην διάρκεια της ημέρας.
- Τα προγράμματα ((Demand Site Management, (DSM)), έχουν μακροπρόθεσμο σχεδιασμό του φορτίου ενώ τα οφέλη δεν είναι άμεσα, από την άλλη πλευρά τα προγράμματα ((Demand Response, (DR)), έχουν βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό και προβάλλουν προσωρινές μεταβολές στην καμπύλη του φορτίου το οποίο στοχεύει σε άμεσα αποτελέσματα.
- Η θετική συμβολή της στρατηγικής των προγραμμάτων ((Demand Site Management, (DSM)) έναντι του περιβάλλοντος αποτελεί σημαντικό όφελος, διότι οδηγεί σε μειώσεις κατανάλωσης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που συνεπάγεται και με μειώσεις των επιπέδων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου προς την ατμόσφαιρα. Απεναντίας το αντίκτυπο από την χρήση προγραμμάτων ((Demand Response, (DR)) προς το περιβάλλον δεν είναι δεδομένο λόγω του γεγονότος ότι εδώ πρόκειται για ενέργειες που έχουν προσωρινό χαρακτήρα όπως είναι η περίπτωση της μετατόπισης του φορτίου κατανάλωσης. Τα προγράμματα ((Demand Response, (DR)), είναι πιο διαδεδομένα στο ευρύ κοινό για τον λόγο ότι έχουν χαμηλότερο κόστος υλοποίησης έναντι των προγραμμάτων ((Demand Site Management, (DSM)), τα οποία έχουν πιο αυξημένο κόστος υλοποίησης για τον λόγο ότι αναφέρονται σε εξοικονόμηση ενέργειας– χρημάτων μέσω είτε της αντικατάστασης του εξοπλισμού, είτε μέσω της ανακαίνισης ενός κτιρίου (Κουπριτζιώτη & Μουσενίκας, 2015).

## 6.9 Διεθνείς πολιτικές, πρωτοβουλίες και προοπτικές (DSM)

Η στόχευση στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί μονόδρομο για την βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Σύμφωνα με μια σχετική έρευνα (Rahimrouf et al., 2020), έδειξε πως στην Ε.Ε., μόλις το 2% των κτιρίων είναι καλά σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται στην ζήτηση όλων των ενδιαφερομένων κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους σύμφωνα με την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση ((Energy Efficiency Directive, (EED))).

Ως εκ τούτου, έξυπνα υλικά όπως π.χ. αποτελούν τα θερμικά ενεργά κονιάματα θα πρέπει να περιλαμβάνονται στις κατασκευαστικές λύσεις. Οι διπλές προσόψεις, τα λειτουργικά παράθυρα, ο φυσικός φωτισμός για την μείωση της περιττής ηλεκτρικής χρήσης μπορούν, επομένως, να παρέχουν μια υγιέστερη ποιότητα αέρα μέσα και έξω από τα κτίρια.

Η ανταπόκριση στην ζήτηση είναι ζωτικής σημασίας για την κάλυψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών με χαμηλότερη χωρητικότητα τροφοδοσίας και μεταφοράς, δεδομένου ότι το σχέδιο εργασίας του οικολογικού σχεδιασμού μπορεί να συνοδεύεται από την τεχνολογία αποθήκευσης της ενέργειας κ.α. υπηρεσιών. Πολλοί ερευνητές, αναφέρουν ότι τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας θα αυξήσουν την ευελιξία του δικτύου (Smale et al., 2017). Άλλοι πάλι διατυπώνουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί προς το παρόν να αποθηκευτεί με αποτελεσματικό τρόπο, επομένως θα πρέπει να διανεμηθεί και να χρησιμοποιηθεί με τον πιο βιώσιμο τρόπο, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες (Castro et al., 2020).

Επιπλέον η εφαρμογή του συστήματος ((Demand Site Management, (DSM))), είναι θεμελιώδες, προϋποθέτει ότι οι καταναλωτές θα πρέπει να δεσμευτούν, να κατανοήσουν την αξία και τους όρους των διαφόρων προγραμμάτων, ώστε μια ανάλυση μεταξύ κόστους και οφέλους θα γίνει κατανοητή μέσω της κατάλληλης συγκριτικής αξιολόγησης (Smale et al., 2017).

Ο Lehmann (2013), αναφέρει πως σύμφωνα τόσο με την εξέλιξη όσο και με τον συνεχή αυξανόμενο ρυθμό της τεχνολογικής ανάπτυξης, η κατασκευή του κτιρίου θα πρέπει να είναι επαρκώς αρθρωτή, έτσι ώστε να επιτρέπει την αποτελεσματική αναπροσαρμογή κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του έως την διαδικασία κατεδάφισης στο τέλος του κύκλου ζωής του.

Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ενεργειακή ανάγκη των κτιρίων καθ 'όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, γεγονός που θα περιλαμβάνει τις προοπτικές τόσο της ενσωματωμένης όσο και της λειτουργικής ενέργειας όπως π.χ. συσκευές θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού ((Heating, Ventilation and Air Conditioning, (HVAC)), συστήματα φωτισμού και βοηθητικά συστήματα, κατασκευή, συντήρηση και τελικά κατεδάφιση (Castro et al., 2020). Εάν αυτό γίνει σωστά, θα εξυπηρετούσε στο να προωθήσει την έξυπνη χρήση των ΑΠΕ, είτε αυτές βρίσκονται εντός του κτιρίου, δηλαδή αναφερόμαστε άμεση χρήση αυτών, είτε όταν αυτές βρίσκονται κοντά στο κτίριο, είτε τέλος βρίσκονται εκτός του χώρου της περιοχής, παρέχοντας έτσι μια πραγματική εμπορική και τεχνολογική εναλλακτική λύση έναντι των ορυκτών καύσιμων.

Κατά τον Ford (2017), η παροχή μιας καινοτομίας ως προς τον τρόπο λειτουργίας αλλά και αλληλεπίδρασης μεταξύ των κτιρίων και όλων των ενδιαφερόμενων καθ 'όλη τη διάρκεια της ζωής τους, τοποθετεί τους χρήστες στο επίκεντρο της σκηνής και υποστηρίζει την ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Έτσι μέσω των τεχνολογιών αλλά και των υπηρεσιών προωθούνται έξυπνες λύσεις στους χρήστες της ενέργειας, όπου παρέχουν τον έλεγχο σε ενδιαφερόμενους φορείς για την βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας, αναπτύσσοντας νέα υλικά και νέες τεχνολογίες για την οικοδόμηση λύσεων που αναφέρονται στην ενεργειακή απόδοση. Επιπρόσθετα οι βελτιστοποιημένες διαδικασίες κατασκευής προσφέρουν ένα σενάριο win-win για μια βιώσιμη ανάπτυξη, μοντελοποίηση και πρόβλεψη (Castro et al., 2020).

Πολλοί σημαντικοί ερευνητές αναφέρουν πως η εφαρμογή αποτελεσματικών λύσεων όπως π.χ. αποτελεί ο έλεγχος των κτιρίων αλλά και των υποσυστημάτων σε συνδυασμό με έναν αποτελεσματικό φωτισμό, προωθεί λύσεις που βασίζονται στην εφαρμογή της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης η οποία περιλαμβάνει χρήση τόσο έξυπνων μετρητών όσο και συστημάτων παρακολούθησης η οποία διευκολύνεται μέσω αυτοματοποιημένων τεχνολογιών (Castro et al., 2020). Ως εκ τούτου, το δίκτυο, το κτίριο αλλά και οι χρήστες του θα μπορούν να χρησιμοποιούν την ανάλυση δεδομένων, κοινοποιώντας τις απαραίτητες πληροφορίες, βοηθώντας παράλληλα στον συντονισμό σε πραγματικό χρόνο και προωθώντας την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ κατασκευής, ανθρώπων και φύσης.

Ο Warren το (2015), υποστήριξε ότι το πακέτο πολιτικής “Utility Business Models / Market Transformations”, περιλαμβάνει τις πιο καινοτόμες αλλά παράλληλα

μακροπρόθεσμες στρατηγικές ((Demand Site Management, (DSM))). Αυτές αποσκοπούν στην αλλαγή των πραγματικών επιχειρηματικών μοντέλων με επακόλουθα οφέλη μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης της ενέργειας, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τους μετασχηματισμούς της αγοράς προς την ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, αποτελεί σημαντική πρόκληση η εφαρμογή τους με έναν βιώσιμο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την υπάρχουσα αποκεντρωμένη και φιλελεύθερη αγορά ενεργειακής απόδοσης. Από την άλλη πλευρά είναι απαραίτητη μια αποδιοργανωτική προσέγγιση για να αντιμετωπιστεί ένας από τους κύριους περιορισμούς των έξυπνων δικτύων. Στις πολιτικές ((Demand Site Management, (DSM))), οι οποίες έχουν να κάνουν με τους μετασχηματισμούς της αγοράς, τα κατάλληλα κίνητρα με μακροχρόνια υποστήριξη, έχουν αναγνωρισθεί ως ο βασικός παράγοντας της επιτυχίας. Αντίθετα οι κύριοι παράγοντες αποτυχίας έχουν να κάνουν με θέματα όπως π.χ. είναι τα τεχνικά προβλήματα, το έλλειμμα παρακολούθησης και η νομοθετική ασφάλεια. Έτσι, η αξιολόγηση των πολιτικών ((Demand Site Management, (DSM))), είναι εκ των προτέρων ή εκ των υστέρων ή συνδυασμός και των δύο προσεγγίσεων.

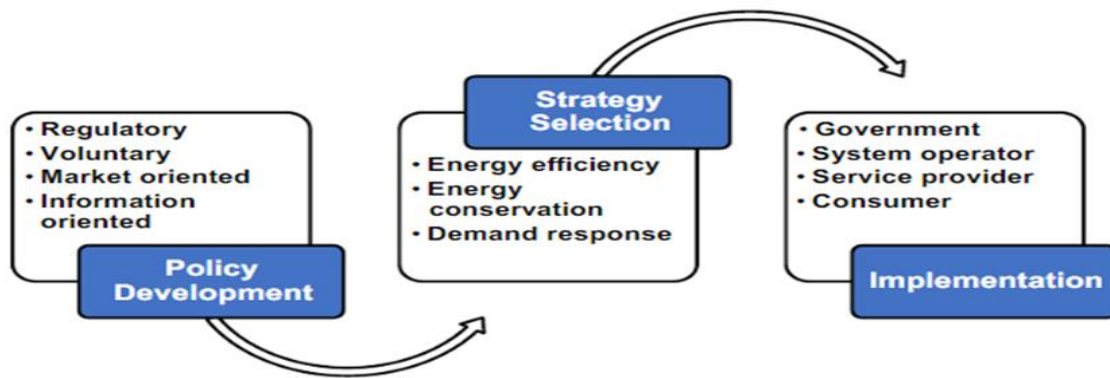
Η εκ των προτέρων προσέγγιση εξετάζει τα αποτελέσματα της νομοθεσίας όπου αναμένεται μια εκτίμηση και απαιτεί σχετικά λίγους πόρους για ανάλυση, ενώ αντίθετα από την άλλη πλευρά, η εκ των υστέρων προσέγγιση απαιτεί μέτρηση και παρακολούθηση των επιπτώσεων της νομοθεσίας (Castro et al., 2020).

### **6.10 Βασικά στάδια κατά την διαδικασία ανάπτυξης ενός συστήματος διαχείρισης της ζήτησης (DSM)**

Η επιτυχία του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))) εξαρτάται από τρία βασικά στάδια κατά την διαδικασία ανάπτυξης:

1. Την ανάπτυξη πολιτικής ((Demand Site Management, (DSM)))
2. Την επιλογή κατάλληλης στρατηγικής ((Demand Site Management, (DSM)))
3. Την εφαρμογή κατάλληλης στρατηγικής ((Demand Site Management, (DSM)))

Στο Σχήμα 6.10.1 αποτυπώνονται τα βασικά στάδια ανάπτυξης που αφορούν το σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))).



Σχήμα 6.10.1 Βασικά στάδια ανάπτυξης προγράμματος διαχείρισης από πλευράς ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Source: (Khan, 2019).

Στην συνέχεια ακολουθεί ανάλυση των βασικών σταδίων ανάπτυξης συστήματος ((Demand Site Management, (DSM)):

1. Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στο κομμάτι της ανάπτυξης πολιτικής η οποία σχετίζεται με το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν από τους παραπάνω τέσσερις τρόπους που αναφέρονται στο Σχήμα 6.10.1 και αφορούν το πρώτο στάδιο. Από την πλευρά των κανόνων πολιτικής γίνεται αναφορά στην χρήση νόμων, κανονισμών και άλλων μέσων της διακυβέρνησης για την επίτευξη ενός επιθυμητού στόχου, βέβαια στην συγκεκριμένη περίπτωση αναφέρονται στην επιτυχία του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Από την πλευρά του εθελοντισμού, γίνεται αναφορά για την ανάπτυξη μιας πολιτικής ενός προγράμματος το οποίο θα απευθύνεται στο στοιχείο του εθελοντισμού είτε πρόκειται για προσωπικό, είτε για οργανωτικό επίπεδο, όπως π.χ. είναι η περίπτωση ενός νοικοκυριού στο οποίο η όποια προτεινόμενη πολιτική λύση εφαρμογής διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), να υλοποιείται με τον δικό της ρυθμό χωρίς την επιβολή κανόνων. Από την πλευρά της ανάπτυξης πολιτικής που προσανατολίζεται στην αγορά αναφέρεται σε μια πολιτική που επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των καταναλωτών, δηλαδή εδώ οι αποφάσεις που παίρνονται εξυπηρετούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Από την πλευρά της ανάπτυξης πολιτικής βάσει της χρήσης της πληροφορίας, ακολουθείται χάραξη πολιτικής με γνώμονα τις διαθέσιμες σχετικές πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο θέμα.

2. Το δεύτερο στάδιο αναφέρεται στο κομμάτι της στρατηγικής, αφορά στην επιλογή στρατηγικής μέσω μιας ποικιλίας διαφορετικών διαθέσιμων στρατηγικών που μπορούν να εφαρμοστούν σε σχέση με το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Αυτές οι στρατηγικές μπορεί να σχετίζονται είτε με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διαφόρων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών που χρησιμοποιούνται, είτε μέσω της εξοικονόμησης της ενέργειας για την επιλογή του οικιακού συστήματος διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Συνοπτικά η εξοικονόμηση της ενέργειας αναφέρεται στην προσπάθεια που γίνεται για την μείωση της καταναλώμενης ενέργειας, μέσω της χρήσης λιγότερων ενεργειακών υπηρεσιών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω της αποτελεσματικότερης χρήσης της ενέργειας όπως π.χ. χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια για μια συνεχή υπηρεσία, είτε μέσω της μείωσης του ποσού που ανέρχεται βάσει της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται. Αντίθετα από την άλλη πλευρά η ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), περιλαμβάνει συμπεριφορές που σχετίζονται είτε με τον χρόνο, είτε με τα διάφορα κίνητρα που βασίζονται στην εξοικονόμηση της ενέργειας.
3. Το τρίτο στάδιο αναφέρεται στο κομμάτι της υλοποίησης το οποίο βέβαια μπορεί να ολοκληρωθεί με οποιαδήποτε από τους τέσσερις προαναφερθέντες τρόπους που συμπεριλαμβάνονται στο πρώτο στάδιο. Για παράδειγμα σε περίπτωση όπου η εφαρμογή πολιτικής υλοποιηθεί βάσει κανόνων, μέσω των διαθέσιμων πληροφοριών, τότε αυτή θα εφαρμοστεί από την κυβέρνηση, ενώ αντίθετα στην περίπτωση που η εφαρμογή πολιτικής που θα αναπτυχθεί είναι προσανατολισμένη στην αγορά, τότε θα μπορούσε να εφαρμοστεί είτε από τον διαχειριστή του συστήματος, δηλαδή την κεντρική διεύθυνση του ηλεκτρισμού, είτε από παρόχους υπηρεσιών, δηλαδή τις εταιρείες διανομής ηλεκτρικής της ενέργειας. Από την άλλη πλευρά εάν πρόκειται για εθελοντική πολιτική, είναι πιθανότερο να εφαρμοστεί από τους τελικούς χρήστες, δηλαδή τους καταναλωτές (Khan, 2019).

Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο τα προγράμματα που σχετίζονται με την απόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες η μία αναφέρεται στα προγράμματα που βασίζονται στην χρονική διάρκεια και η άλλη αναφέρεται στα προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα.

Τα προγράμματα που βασίζονται στον χρόνο έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνουν τους καταναλωτές στον έλεγχο που γίνεται και αφορά την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης για να μπορούν να επωφελούνται από αυτήν την διαδικασία, ενώ αντίθετα τα προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα διαχειρίζονται από τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και προσφέρουν κίνητρα στους καταναλωτές. Εδώ μπορεί να αναφερθεί πως τα προγράμματα που αναφέρονται τόσο σε κίνητρα όσο και στην διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), βασίζονται σε δυο κύριες παραμέτρους, η πρώτη αφορά τα προγράμματα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) και σχετίζεται με την μετατόπιση του φορτίου ενώ η δεύτερη αφορά τα προγράμματα που σχετίζονται με την απόδοση του συστήματος αλλά και την διατήρηση της ενέργειας (Khan, 2019).

Ονομαστικά αναφέρονται μερικά από τα κοινά προγράμματα που βασίζονται στον χρόνο εκ των οποίων είναι το ((Time of Use, (ToU)) tariff, το ((Real Time Pricing, (RTP)), το ((Critical Peak Pricing, (CPP)) και το ((Peak Time Rebate, (PTR)). Ενώ από την άλλη πλευρά στα κοινά προγράμματα που αφορούν την διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), τα οποία βασίζονται σε κίνητρα όπως π.χ. είναι το ((Direct Load Control, (DLC)), το ((Emergency Demand Response Program, (EDRP)) και το (Capacity Market Program, (CMP)). Σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο αποτελεί το γεγονός πως για να εφαρμοστούν τα περισσότερα από τα παραπάνω προαναφερθέντα προγράμματα ή ακόμα και οι στρατηγικές που αναφέρονται στην διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), θα πρέπει τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας να βρίσκονται συνδεδεμένα με το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG))), για το οποίο βέβαια έγινε εκτενέστερη αναφοράς στο Κεφάλαιο 3. Η διαχείριση τόσο των λειτουργιών όσο και της μετατόπισης των φορτίων σχετίζονται με τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)) και αναφέρονται σε μειώσεις τόσο των διαφόρων δραστηριοτήτων – λειτουργιών όσο και σε μετατοπίσεις των φορτίων, όπου σε αυτό το σημείο σημειώνονται και παρατηρούνται αλλαγές των φορτίων χρήσης από τις περιόδους αιχμής της ζήτησης προς τις περιόδους χαμηλότερης ζήτησης με βασικό στόχο την μείωση του μέγιστου φορτίου (peak demand) της ζήτησης στο σύστημα. Έτσι κάνοντας όλες τις απαραίτητες

αλλαγές που σχετίζονται με την ημερήσια μέγιστη περίοδο ζήτησης, επιτυγχάνεται καλύτερη καμπύλη φορτίου με μια πιο επίπεδη μορφή (Khan, 2019).

Επίσης τα προγράμματα που σχετίζονται με την ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), συμβάλλουν και σε περεταίρω εξοικονόμηση χρηματικού κόστους αλλά και ενέργειας που αποτελούν αποτέλεσμα συνεπειών όπως π.χ. είναι η περίπτωση της κατασκευής επιπλέον παραγωγικών μονάδων για την κάλυψη των ενδεχόμενων μελλοντικών απαιτήσεων αλλά και των αναγκών του δικτύου ή ακόμα και της όποιας τυχόν ενίσχυσης των συστημάτων τόσο σε επίπεδο διανομής όσο και σε επίπεδο μεταφοράς στο δίκτυο.

Ενώ αντίθετα τόσο η απόδοση όσο και η εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα που σχετίζεται με τα προγράμματα διαχείρισης της ενέργειας τα οποία προτρέπουν τους καταναλωτές να μειώσουν μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης τους με κίνητρο το οικονομικό κέρδος, μέσα από μια ακολουθία ενεργειών όπως π.χ. αποτελεί η χαμηλή ρύθμιση του θερμοστάτη στα κλιματιστικά κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Τα προγράμματα ενεργειακής απόδοσης προσβλέπουν σε μείωση της συνολικής καταναλώμενης ενέργειας η οποία σχετίζεται με συγκεκριμένες συσκευές και συστήματα, συμβάλλοντας έτσι με αυτόν τον τρόπο στην χρήση ειδικού κατάλληλου εξοπλισμού όπως π.χ. αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές, οι αυτοματισμοί, καθώς και στην υλοποίηση κτιριακών εγκαταστάσεων υψηλής ενεργειακής απόδοσης όπως π.χ. αποτελούν τα έξυπνα αλλά και τα ((Zero Energy Buildings, (Zeb)) σπίτια, ενώ παράλληλα οι καταναλωτές να συνεχίζουν να απολαμβάνουν την ίδια ποιότητα υπηρεσιών και άνεσης.

Κατά την τελευταία δεκαετία η εστίαση αλλά και το ενδιαφέρον που εκδηλώθηκε για εφαρμογές που αφορούσαν τόσο την χρήση των έξυπνων δικτύων όσο και την πρόοδο που σημειώθηκε στα πρωτόκολλα καθώς επίσης και στις τεχνολογίες επικοινωνιών που είχαν ως στόχο την βελτίωση της ικανότητας επικοινωνίας μεταξύ των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και των καταναλωτών της ενέργειας, με επακόλουθο να επιτραπεί η ενεργός ανάπτυξη της ανταπόκρισης στην ζήτηση για ενέργεια ((Demand Response, (DR)), καθ 'όλη την διάρκεια χωρίς πλέον να περιορίζεται μόνο στην ανταπόκριση στην ζήτηση για ενέργεια (Demand Response, (DR)), η οποία θα βασίζεται σε γεγονότα. Οι πελάτες θα μπορούν εν συνεχεία να παρακολουθούν και να ελέγχουν το φορτίο τους σε πραγματικό χρόνο και να εμπλακούν ενδεχομένως με την αγορά ενέργειας. Αυτό βέβαια



απαιτεί την χρήση ενός εξελιγμένου συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), όπου ως στόχο θα έχει τον έλεγχο τόσο του εξοπλισμού όσο και των διάφορων σχετικών συσκευών (Khan, 2019).

### **6.11 Σύστημα διαχείρισης της ενέργειας (EMS) που υποστηρίζει τη διαχείριση της ζήτησης (DSM)**

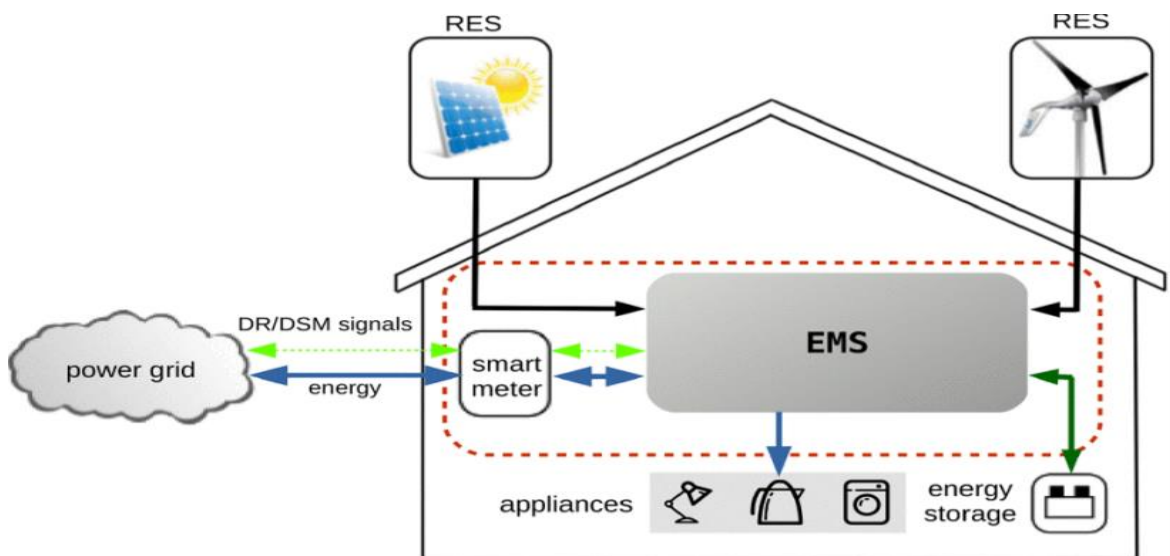
Χρησιμοποιώντας κατάλληλους αλγόριθμους όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 7, το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), επιτρέπει την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τα περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της θερμοκρασίας αλλά και τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος. Λόγω του μεγάλου μεριδίου τόσο των συσκευών θέρμανσης, όσο των συστημάτων εξαερισμού & κλιματισμού ((Heating, Ventilation and Air Conditioning, (HVAC)), στην συνολική ζήτηση της ενέργειας του κτιρίου, αυτό μπορεί να αποφέρει αισθητά οφέλη από την προοπτική της εξοικονόμησης ενέργειας. Επίσης το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), μπορεί να καλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα παραληπτών ισχύος σε ένα κτίριο (Chojecki et al., 2020).

Οι αποτελεσματικοί μηχανισμοί των συστημάτων ((Demand Response, (DR))/((Demand Site Management, (DSM))), είναι κερδοφόροι για όλους τους συμμετέχοντες που συνδέονται τόσο με το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και με τους παράγοντες της αγοράς που δραστηριοποιούνται στην ηλεκτρική ενέργεια. Από την άποψη ενός μεμονωμένου παραλήπτη, αυτό που προκύπτει είναι τα οικονομικά οφέλη μέσω της μείωσης που επέρχεται στις χρεώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον αποτελούν το βασικό κίνητρο στο να συμμετέχουν στα συστήματα ((Demand Response, (DR))/((Demand Site Management, (DSM)) και να επενδύουν σε άλλες εγκαταστάσεις με ανανεώσιμες πηγές. Το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) του διαχειριστή που υποστηρίζει τα δύο προηγούμενα συστήματα επιφέρει οφέλη όπως:

- Τον περιορισμό των απωλειών μετάδοσης.
- Την βελτίωση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του συστήματος.

Η σωστή ανταπόκριση σε ένα κίνητρο τιμολόγησης που γίνεται από τους καταναλωτές ενέργειας δεν είναι πάντα δυνατή. Εάν ο καταναλωτής διαθέτει το σύστημα διαχείρισης

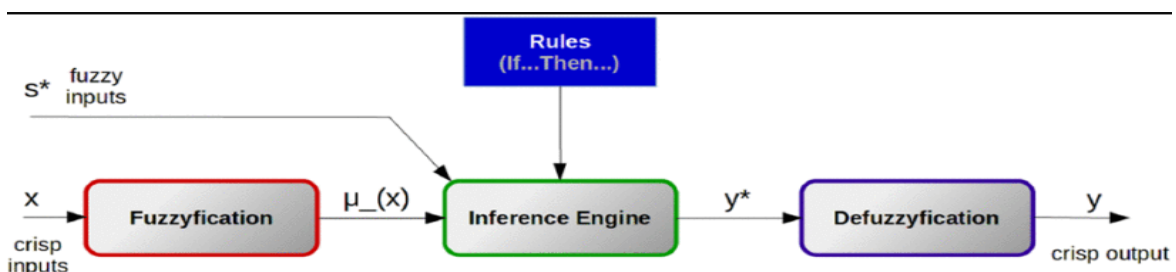
της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), το οποίο μπορεί να λειτουργήσει με ΑΠΕ και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, τότε βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα των μηχανισμών ((Demand Response, (DR))/ ((Demand Site Management, (DSM))). Οι μηχανισμοί ((Demand Response, (DR))/ ((Demand Site Management, (DSM))), θα πρέπει να βασίζονται όχι μόνο στην εθελοντική ανατροφοδότηση αλλά προφανώς και στους αλγόριθμους που εφαρμόζονται στις ελεγχόμενες συσκευές όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.11.1.



Σχήμα 6.11.1 Έξυπνος μετρητής και σύστημα διαχείρισης της ενέργειας Energy Management System (EMS) ως στοιχεία των συστημάτων Demand Response (DR)/ Demand Site Management (DSM). Source: (Chojecki et al., 2020).

Κατά το στάδιο διαδικασίας ανταπόκρισης στα σήματα που αποστέλλονται από το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), ελέγχει σωστά την ροή ενέργειας μεταξύ των εγκατεστημένων (ΑΠΕ) του δικτύου, της αποθήκευσης της ενέργειας και των δεκτών. Ο έξυπνος μετρητής ((Smart Meter, (SM)) μαζί με το αυτόνομο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) επιτρέπει την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ΑΠΕ και αντλείται από το δίκτυο με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Πριν γίνει η αναφορά των σχετικών έργων θα πρέπει πρώτα να γίνει μια σχετική αναφορά στην έννοια της ασαφής λογικής (fuzzy logic).

- Η θεωρία ασαφής λογικής (fuzzy logic): Αναφέρεται στον τομέα που σχετίζεται με τις έξυπνες υπολογιστικές τεχνικές των δικτύων και περιλαμβάνει νευρωνικά δίκτυα, πλήθος ευφυΐας, ασαφή λογική καθώς και εξελκτικούς αλγόριθμους. Οι λύσεις που βασίζονται σε ασαφή λογική θεωρούνται αξιόπιστες και συνάμα υπολογιστικά αποδοτικές. Η ασαφής λογική αποτελεί μια λογική πολλαπλών τιμών, η οποία αποτελεί μια γενίκευση της κλασικής λογικής Boolean. Η ιδέα των ασαφών σετ εισήχθη το 1960 από τον L. Zadeh. Η εφαρμογή της ασαφής λογικής δίνει την δυνατότητα στο να περιγράφονται πιο εύκολα διαδικασίες αλλά και φαινόμενα για τα οποία δεν θα υπάρχουν αυστηρά μαθηματικά μοντέλα. Η ασαφής λογική επιτρέπει την αυτόματη λήψη αποφάσεων με τρόπο παρόμοιο με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και βοηθά στη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων κανόνων που συχνά αντιστοιχούν στην περιγραφή του φαινομένου. Το ασαφές συμπέρασμα χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή ειδικών συστημάτων. Η πρακτική χρήση των αρχών της ασαφής λογικής για την δημιουργία ελεγκτών ασαφής λογικής αλλά και των μπλοκ λήψης αποφάσεων αποτελείται από τρία βασικά βήματα που αναδεικνύονται στο Σχήμα 6.11.2. (Chojecki et al., 2020).



Σχήμα 6.11.2 Μπλοκ διάγραμμα της ασαφούς διαδικασίας ελέγχου. Source: (Chojecki et al., 2020).

- Η Fuzzification: Αναφέρεται στην έννοια της ασάφειας όπου αποτελεί την διαδικασία της αλλαγής μιας τιμής εισόδου σε μια ασαφή τιμή, (βαθμός συμμετοχής στο ασαφές σύνολο). Τα πιο συνηθισμένα σχήματα λειτουργιών συμμετοχής είναι τραπεζοειδή ή τριγωνικά.
- Το Inferencing: Αναφέρεται στο συμπέρασμα το οποίο υλοποιείται χρησιμοποιώντας την βάση δεδομένων των κανόνων. Η κατασκευή της βάσης κανόνων, λόγω της έντονης ομοιότητας με την λεκτική περιγραφή των φαινομένων, επιτρέπει την

εύκολη μοντελοποίηση της. Λόγω της χρήσης δομών παρόμοιων με τις δηλώσεις υπό όρους εάν στις περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού είναι εφικτή μια πρακτική πραγματοποίηση.

- Το Defuzzification: Αναφέρεται στον ακριβή προσδιορισμό τις ευκρινείς των τιμών του σήματος ελέγχου της εξόδου. Η έξοδος περιγράφεται από τον βαθμό ενεργοποίησης που προκύπτει από την βάση δεδομένων των κανόνων. Το Defuzzification θυμίζει το στάδιο fuzzification, το οποίο συμβαίνει στην αντίθετη κατεύθυνση (Chojecki et al., 2020).

Ο Shahgoshtasbi και ο Jamshidi (2014), πρότειναν ένα έξυπνο αυτόματο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), το οποίο χρησιμοποιεί ασαφή λογική (fuzzy logic), και έναν πίνακα αποφάσεων που βασίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο. Ο ρόλος του συστήματος είναι να αλλάξει την κορυφή αιχμής της ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου πέρα από το μέγιστο φορτίο του συστήματος που βασίζεται στα σήματα τιμών. Όπως αναφέρει η έρευνα αναδεικνύει ότι ένα μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), είναι σε θέση να επιλέξει το πιο ενεργειακά και συνάμα αποδοτικό σενάριο. Τα σενάρια που εμπλέκονται απαρτίζουν:

- Έλεγχο των οικιακών συσκευών όπως π.χ. (θερμοσίφωνα, πλυντήριο πιάτων, καταψύκτη, πλυντήριο).
- Φωτισμός.
- Μεταφορά ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης με χρήση μπαταρίας από το ηλεκτρικό δίκτυο ενέργειας αλλά και από την ενεργειακή κατανάλωση μέσω του Φ/Β στοιχείου.

Σύμφωνα με την έρευνα, η συνολική ενεργή ημερήσια κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε με επιτυχία. Επίσης ο Wu, (2014), παρουσίασε ένα θεωρητικό μοντέλο του συστήματος διαχείρισης χρήσης της οικιακής ενέργειας ((Home Energy Management, (HEMS)), χρησιμοποιώντας έναν ρυθμιστή ασαφούς λογικής για την βελτιστοποίηση της φόρτισης αλλά και της εκφόρτισης του κύκλου αποθήκευσης της ενέργειας. Για την επαλήθευση του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν περιβαλλοντικά δεδομένα που συλλέχθηκαν σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα δεδομένα περιείχαν δεδομένα όπως π.χ. είναι: Η θερμοκρασία, η τιμή ενέργειας, η κατανάλωση ζεστού νερού αλλά και η ποσότητα ισχύος που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Εν συνεχεία

δοκιμάστηκαν δύο παραλλαγές, με και χωρίς την χρήση μηχανισμού συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Στα συμπεράσματα, οι ερευνητές τόνισαν ότι ο προτεινόμενος ασαφής αλγόριθμος λειτούργησε καλά στην περίπτωση των μεταβλητών στοχαστικών δεδομένων, επίσης και οι δύο δοκιμαστικές παραλλαγές μπορεί να αποφέρουν οικονομικά οφέλη, καθώς και ότι ο χρόνος υπολογισμού είναι αποδεκτός για πρακτική εφαρμογή. (Chojecki et al., 2020).

Όλες οι προαναφερθέντες έρευνες αναδεικνύουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω των προσομοιώσεων, οι οποίες μάλιστα επιβεβαιώνουν τις αρχικές παραδοχές όπως π.χ. αποτελεί η βελτίωση του προφίλ του φορτίου του κτιρίου αλλά και η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας. Διάφορες προσομοιώσεις μοντέλων που παρουσιάζονται από πολλούς ερευνητές αποδεικνύουν την δυνατότητα μείωσης του μέγιστου ενεργειακού φορτίου ενός κτιρίου αλλά και της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας μέσω της εφαρμογής ενός συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) για την διαχείριση του προφίλ φορτίου των πελατών.

Βέβαια υπάρχουν αναφορές αλλά και κριτικές άλλων ερευνητών όπου αναφέρονται σε άλλα υλοποιημένα ερευνητικά έργα, με διαφορετικές μεθόδους υπολογιστικής νοημοσύνης, ειδικά χρησιμοποιώντας την θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy sets theory), στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Chojecki et al., 2020).

Τέλος υπάρχουν αναφορές κατά τις οποίες παρουσιάζονται οι διαφορετικές δυνατότητες χρήσης του οικιακού συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), για την υποστήριξη σεναρίων με χρήση του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Ένας από τους βασικούς στόχους για τους αλγόριθμους που βασίζονται σε συστήματα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), είναι η αναγνώριση των συσκευών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την τρέχουσα κατανάλωση της ενέργειας. (Chojecki et al., 2020).

## **6.12 Εφαρμογές DSM απο την πλευρά της ζήτησης**

Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές που αναφέρονται στην διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), μερικές από αυτές είναι οι εξής:

1. Η πρώτη αφορά έναν βελτιστοποιημένο επιχειρησιακό σχέδιο που αφορά τις οικιακές συσκευές μέσω της χρήσης ενός εργαλείου προσομοίωσης που βασίζεται

στην διαχείριση της ζήτησης για ενέργεια ((Demand Site Management, (DSM)). Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης ελαχίστου πλήθους με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους των πελατών αλλά και τον προσδιορισμό μιας τεχνικής διαχείρισης των πηγών ενέργειας.

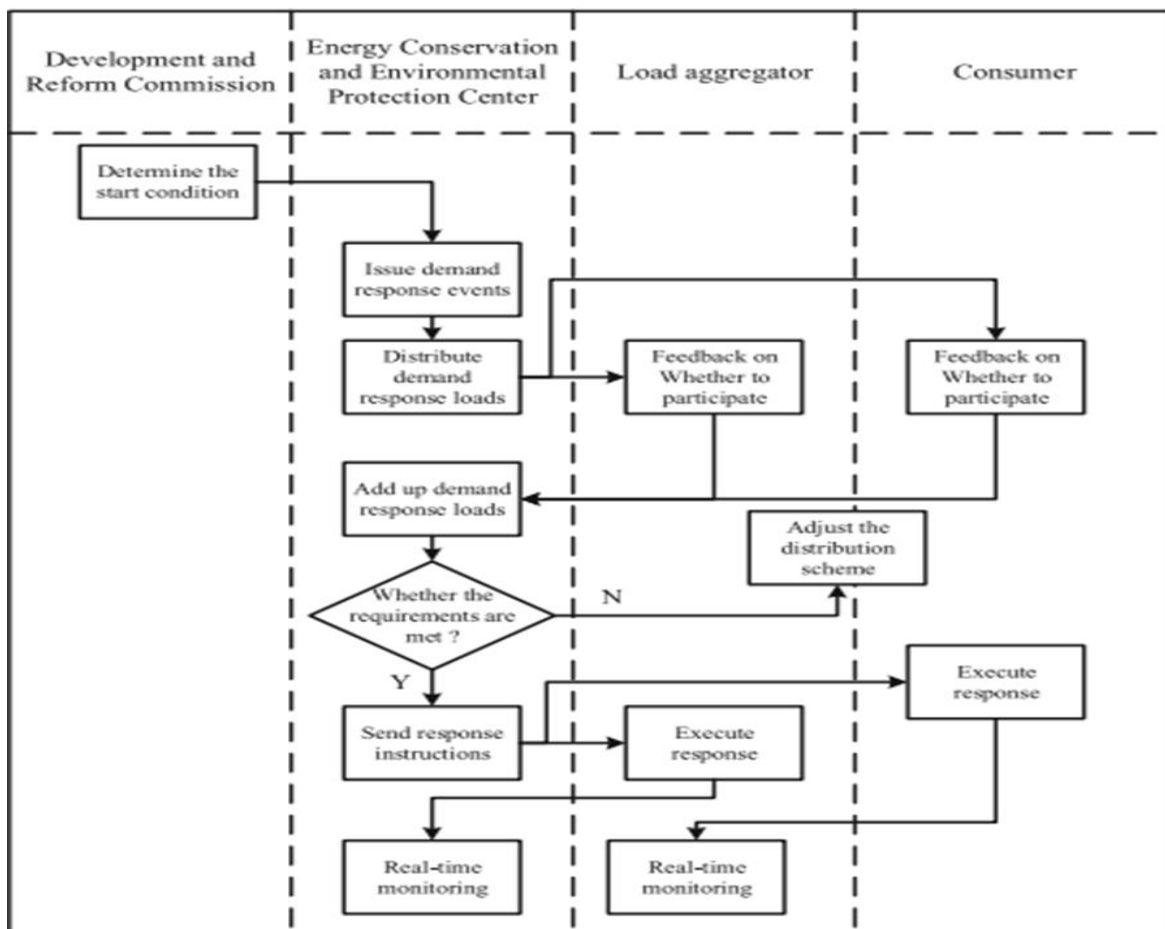
2. Η δεύτερη αφορά μια κοινή αρχιτεκτονική υπηρεσιών η οποία αναπτύχθηκε για να επιτρέψει την αλληλεπίδραση μεταξύ των καταναλωτών και των προμηθευτών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Η αρχιτεκτονική θα διευκολύνει τους χρήστες που χρησιμοποιούν ποσότητα ενέργειας η οποία θα προέρχεται από την παραγωγή μέσω χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπου θα μπορεί εν συνεχεία να ενσωματωθεί με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της χρήσης ενός κεντρικού συντονιστή, ο οποίος θα αποτελεί την πύλη μέσα στο σπίτι.
3. Η τρίτη μέθοδος αφορά μια τεχνική βελτιστοποίησης πολλαπλών επιπέδων για την διαχείριση των απαιτήσεων, δηλαδή στην συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόζεται άμεσος έλεγχος του φορτίου. Προτείνεται ένα σύστημα αυτοματισμού του σπιτιού, το οποίο θα λαμβάνει δυναμικά υπόψη το επίπεδο της άνεσης του χρήστη καθώς και τα όρια που τίθενται σε σχέση πάντα με την κατανάλωση του ρεύματος.
4. Η τέταρτη μέθοδος αφορά τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων συσκευών ελέγχου που αφορούν ένα σύστημα κτιριακού ή οικιακού αυτοματισμού. Συγκεκριμένα αναδεικνύεται η επικοινωνία μέσω της γραμμής μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με τον έλεγχο των συσκευών και αφορά τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης τόσο των κτιρίων όσο και των κατοικιών.
5. Η πέμπτη μέθοδος αφορά την παρουσίαση και την αξιολόγηση των μηχανισμών ελέγχου που σχετίζονται με την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σπίτι ή και σε μια ομάδα σπιτιών τα οποία απαρτίζουν μια γειτονιά. Οι ελεγκτές διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management Centre, (EMC)), θεωρούνται ότι ελέγχουν την λειτουργία των συσκευών βάσει των τιμών της ενέργειας αλλά και των προκαθορισμένων προτιμήσεων των καταναλωτών. Οι έρευνες καταδεικνύουν καταρχήν ότι ένα απλό μοντέλο βελτιστοποίησης το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας της συσκευής το οποίο βασίζεται αποκλειστικά στην τιμή της ενέργειας μπορεί στην πραγματικότητα να οδηγήσει σε υψηλότερη αιχμή ζήτησης.

6. Η έκτη μέθοδος αφορά τα βιομηχανικά και τα εμπορικά προγράμματα τα οποία σχετίζονται με την διαχείριση του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου που είναι διαθέσιμο και αναφέρεται τόσο σε βιομηχανικούς όσο και σε εμπορικούς καταναλωτές. Γνωστή περίπτωση που σχετίζεται με τα βιομηχανικά προγράμματα αποτελεί η περίπτωση χρήσης προγραμμάτων που σχετίζονται με τον έλεγχο των επιπέδων του διακοπτόμενου φορτίου για την εφαρμογή υπηρεσιών ενεργειακής εφεδρείας ενώ παράλληλα συμβάλλουν και στην καλυτέρευση των επιπέδων αξιοπιστίας του συστήματος. Από την άλλη πλευρά γνωστή περίπτωση που σχετίζεται με τα εμπορικά προγράμματα αποτελεί η περίπτωση χρήσης προγραμμάτων που σχετίζονται με τον έλεγχο συστημάτων όπως π.χ. είναι αυτό του εξαερισμού & κλιματισμού ((Heating, Ventilation and Air Conditioning, (HVAC)) αλλά και του φωτισμού (lighting) (Huang et al., 2019).

Συνοψίζοντας μπορεί να ειπωθεί ότι η διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), αναφέρεται σε τεχνικές σχεδιασμού, εφαρμογής αλλά και αξιολόγησης συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών αλλά και των μέτρων τα οποία έχουν σχεδιαστεί είτε για να ενθαρρύνουν, είτε να εξουσιοδοτούν τους πελάτες να τροποποιήσουν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας τους σε σχέση με τα πρότυπα χρονισμού της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και του επιπέδου της ζήτησης. Πρωταρχικός στόχος αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας αλλά και των περιόδων αιχμής της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα θα πρέπει να επικεντρωθεί στον εντοπισμό και την βελτιστοποίηση λύσεων που αφορούν τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό καθώς επίσης θα πρέπει να ειδικεύονται και στο να υποδεικνύουν λειτουργίες διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), με τον πιο ενεργειακά αποδοτικό τρόπο ώστε να ανταποκρίνονται στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον λειτουργίας του οικιακού δικτύου ((Home Area Network, (HAN)), σύμφωνα με τους περιορισμούς που υπάρχουν σε πραγματικό χρόνο.

Επίσης πολλά ηλεκτρικά δίκτυα σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν εισαγάγει την μέθοδο της ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Το 2012, το Πεκίνο επιλέχθηκε ως μία από τις πρώτες πιλοτικές πόλεις για την διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), στην Κίνα και έκανε μια προκαταρκτική προσπάθεια για το σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site

Management, (DSM)). Το 2015, το Πεκίνο πρωτοστάτησε με την δημιουργία ενός μηχανισμού που σχετίζεται με την ανταπόκριση στην ζήτηση με την ονομασία “Initiative Response, Load Aggregation” στην Κίνα. Επίσης εξέδωσε την Ανακοίνωση της Επιτροπής Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων του Πεκίνου, σχετικά με την στρατολόγηση συγκεντρωτικών φορτίων ανταπόκρισης στην ζήτηση των καταναλωτών για ένα πλήρες πιλοτικό πρόγραμμα συστήματος διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), του Πεκίνου και οι πρώτοι 26 οργανισμοί επιλέχθηκαν ως "Συγκεντρωτικά φορτία ανταπόκρισης στην ζήτηση για το πλήρες πιλοτικό πρόγραμμα ((Demand Site Management, (DSM)) το 2015". Η διαδικασία εφαρμογής εκτέλεσης του προγράμματος που αναφέρεται στην ανταπόκριση στην ζήτηση στο Πεκίνο αναδεικνύεται στο Σχήμα 6.12.1. Στις 26 Ιουλίου του 2016, η επαρχία Jiangsu εφάρμοσε με επιτυχία το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση σε ολόκληρη την επαρχία για πρώτη φορά (Huang et al., 2019).



Σχήμα 6.12.1 Στάδιο πραγματοποίησης εκτέλεσης του προγράμματος ανταπόκρισης στην ζήτηση στο Πεκίνο. Source: (Huang et al., 2019).



Αυτή η διαδικασία εφαρμογής διαχωρίζει δύο τρόπους ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)):

- 1) Η πρώτη αφορά την συμφωνημένη ανταπόκριση στην ζήτηση.
- 2) Η δεύτερη αφορά την ανταπόκριση στην ζήτηση σε πραγματικό χρόνο.

Συνολικά έλαβαν μέρος 3154 συμμετέχοντες πελάτες. Σε ότι έχει να κάνει με την συμφωνημένη ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), πραγματοποιήθηκε εξολοκλήρου από τους επιχειρηματικούς πελάτες, εκ των οποίων συμπεριλαμβανομένων 248 απλών καταναλωτών και 24 συγκεντρωτικών φορτίων. Τώρα σε σχέση με την ανταπόκριση στην ζήτηση σε πραγματικό χρόνο συμπεριλάμβανε κυρίως φορτία κλιματισμού από τους 1871 συμμετέχοντες, εκ των οποίων οι 1550 αποτελούσαν μη οικιακούς πελάτες και αντίστοιχα οι 321 αποτελούσαν οικιακούς πελάτες. Βάσει των στατιστικών στοιχείων που προέκυψαν κατόπιν των αποτελεσμάτων ανέδειξαν, πως το συμφωνημένο φορτίο ανταπόκρισης στην ζήτηση ανέρχονταν στα 3,31 εκατομμύρια κιλοβάτ (KW), ενώ αντίστοιχα το φορτίο ανταπόκρισης στην ζήτηση σε πραγματικό χρόνο ανέρχονταν στα 0,214 εκατομμύρια κιλοβάτ (KW), συνολικά, δηλαδή το φορτίο και για τις δύο περιπτώσεις ανταπόκρισης στην ζήτηση ανέρχονταν στα 3,52 εκατομμύρια κιλοβάτ (KW). Το δίκτυο τροφοδοσίας (PJM) στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, έχει επιτύχει κάτι αξιοσημείωτο μέσω του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση, όπου η χωρητικότητα της οποίας αντιπροσωπεύει περίπου το 6% του μέγιστου φορτίου ολόκληρου του δικτύου. Τον Σεπτέμβριο του 2013, το δίκτυο τροφοδοσίας (PJM), χρησιμοποίησε περίπου 6 εκατομμύρια κιλοβάτ (KW) πηγές ανταπόκρισης στην ζήτηση, οι οποίες εξοικονομούσαν περίπου 11 δισεκατομμύρια δολάρια στις ΗΠΑ και αντιστοιχούσαν σε λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας για τους πελάτες για το συγκεκριμένο έτος (Huang et al., 2019).

Σε ότι αφορούσε την δυναμική ανταπόκριση στην ζήτηση, έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα αυτόματης ανταπόκρισης στην ζήτηση σε πραγματικό χρόνο, στην Ζώνη των ελεύθερων συναλλαγών Zhangjiagang και στο μεταλλουργικό βιομηχανικό πάρκο Yangtze στην επαρχία Jiangsu. Συνολικά υπάρχουν 868 τεμάχια που αφορούν τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, τα οποία ανήκουν σε 276 επιχειρήσεις στο πάρκο τα οποία μπορούν να λάβουν αυτόματα αποφάσεις ανταπόκρισης στην ζήτηση σύμφωνα με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο κατόπιν οδηγιών ελέγχου βάσει της πλατφόρμας ανταπόκρισης στην ζήτηση. Σύμφωνα με μελέτη αποδείχθηκε ότι

δεν επηρεάζεται η κανονική παραγωγή των επιχειρήσεων, καθώς και ότι η συνολική ζήτηση του πάρκου μπορεί να μειωθεί κατά 558.000 kW σε μόλις ένα δευτερόλεπτο μέσω ενεργειών όπως της αναστολής της παραγωγής, της μείωσης του φορτίου ή μέσω χρήσης άλλων μέσων, πραγματοποιώντας έτσι μια δυναμική ανταπόκριση στην ζήτηση δεύτερου επιπέδου.

Η προώθηση του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση Demand Response (DR), αποτελεί επίσης μια σημαντική κίνηση για την επανάσταση από την πλευρά της ζήτησης στην Κίνα και αποτέλεσε θέμα αρκετών γνωμοδοτήσεων τόσο της Κεντρικής Επιτροπής ((Communist Party of China, (CPC)) όσο και του Κρατικού Συμβουλίου για την περαιτέρω εμπάθυνση της μεταρρύθμισης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τον Μάρτιο του 2015, όπου και επίσημα ξεκίνησε μια νέα μεταρρύθμιση του συστήματος ισχύος στην Κίνα. Το άνοιγμα στον τομέα της λιανικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντικό κομμάτι του νέου γύρου μεταρρυθμίσεων, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση νέων μελών στην αγορά, όπως π.χ. είναι οι προμηθευτές της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και οι συλλέκτες φορτίων. Το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση αποτελεί έναν πόρο χαμηλού κόστους, ευέλικτης ανάπτυξης αλλά και υψηλής ποιότητας, όπου μπορεί να ενσωματωθεί στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ευέλικτων επιχειρηματικών μοντέλων, όπως π.χ. είναι η μείωση λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος, απαντώντας έτσι στην τιμή του χρόνου χρήσης και παρέχοντας παράλληλα βοηθητικές υπηρεσίες που σχετίζονται είτε με την μείωση της αιχμής της ζήτησης για ενέργεια είτε και με το αποθεματικό της ενέργειας. Βάσει αυτών των στοιχείων μπορεί να αναφερθεί πως μελλοντικά τόσο οι πόροι όσο και το δυναμικό του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση θα αποτελέσουν ευρέως κίνητρα και η ανταπόκριση στην ζήτηση θα γίνει ο ολοκαίνουργιος και μη αμελητέος παράγοντας στην λειτουργία του συστήματος ισχύος (Huang et al., 2019).

### **6.13 Ανάπτυξη και εφαρμογή λογισμικού που σχετίζεται με την διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης (DSM)**

Όσον αφορά την ανάπτυξη λογισμικού αλλά και την εφαρμογή του συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση, η Pacific Gas and Electric Company, εφαρμόζει μια πολιτική μέσω ενός έργου υποβολής προσφορών από την πλευρά της ζήτησης το οποίο βασίζεται σε μια αυτοματοποιημένη πλατφόρμα. Κάνοντας χρήση τόσο της εφαρμογής της

τεχνολογίας αυτοματισμών όσο και της τεχνολογίας επικοινωνιών, συντονίζει τον έλεγχο των καταναλωτών και διανέμει τους ενεργειακούς πόρους για την μείωση του μέγιστου φορτίου ενέργειας. Το πρότζεκτ (ITM), του εργαστηρίου Kema στην Ολλανδία χρησιμοποιεί την τεχνολογία διανομής μέσω του χρόνου χρήσης της ενέργειας αλλά και το μηχανισμό κινήτρων που αφορούν την ενέργεια για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης η FRANKE GMKP, η οποία πρόκειται για μια Γερμανική εταιρεία που αναπτύσσει το “FRANKE GMKP Demand Controller System”, το οποίο μπορεί να προβλέψει το μέγιστο φορτίο της ενέργειας την επόμενη στιγμή μέσω της ανάλυσης των τάσεων και να πραγματοποιεί αναλόγως τις προσαρμογές, όπως π.χ. είναι η αλλαγή της ισχύος, η καθυστέρηση ή η απόρριψη του φορτίου για την πραγματοποίηση αυτόματου ελέγχου βάσει των χρονικών διαστημάτων στο ενεργειακό σύστημα. (Huang et al., 2019).

Από την άλλη πλευρά η Ιαπωνία έχει δημιουργήσει μια σειρά έργων επίδειξης που σχετίζονται με την συνολική χρήση πολλαπλών ενεργειακών πόρων σε Aichi, Kyoto, Hachinohe, Kyotango, Shimizu και Sendai με την υποστήριξη του Νέου Οργανισμού Ανάπτυξης Ενέργειας και Βιομηχανικής Τεχνολογίας, ((New Energy and Industrial Technology Development Organization, (NEDO)). Σε σχέση με τον έλεγχο, υιοθετείται μια δομή master-slave για την διατήρηση της ισορροπίας ισχύος του συστήματος, που χρησιμοποιεί το ανώτερο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας για την βέλτιστη αποστολή των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων αλλά και των συσκευών αποθήκευσης της ενέργειας. Γενικά αυτοί οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι δεν έχουν τη δυνατότητα “plug and play”, δηλαδή άμεσης αναγνώρισης από το σύστημα. Η στρατηγική “i-japan Smart Japan το 2015”, στοχεύει στην ενσωμάτωση της ψηφιακής τεχνολογίας των πληροφοριών σε κάθε γωνιά της παραγωγής και της ζωής για την πλήρη υποστήριξη της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων (Huang et al., 2019).

#### **6.14 Κτιριακό σύστημα παραγωγής μικροδικτύου & διαχείριση ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης**

Η ενεργειακή αποδοτικότητα των παραγωγικών μονάδων των μικροδικτύων, ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), στα οποία εμπεριέχονται ενεργοί αλλά και ευέλικτοι μηχανισμοί διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))), αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο των μελλοντικών έξυπνων δικτύων.

Εξαιτίας της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και της αυξανόμενης ζήτησης για ισχύ, θα πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη με χρήση κατάλληλων εργαλείων για την διαχείριση όχι μόνο των φορτίων, αλλά και μια σειρά άλλων παραγόντων όπως π.χ. είναι των μικρών μονάδων παραγωγής, των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, των μονάδων αποθήκευσης και τέλος των ηλεκτρικών οχημάτων. Λόγω της εξέλιξης που υφίσταται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα να γίνεται όλο και πιο σύγχρονο και να ενισχύεται από πόρους, οι οποίοι προέρχονται από κατανεμημένη παραγωγή ((Distributed Generation, (DG)), μετατρέποντας το έτσι στο λεγόμενο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)). Βασικός πυλώνας αυτής της εξέλιξης αποτελεί η ανάπτυξη αλλά και η αύξηση της διαθέσιμης ενέργειας η οποία προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), όπως π.χ. είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ ((Photovoltaic, (PV)), οι ηλιακοί συλλέκτες, οι ανεμογεννήτριες κ.α. Στην πράξη ως επί το πλείστον συνδυάζονται με τα τοπικά μικρά ηλεκτρικά δίκτυα τα οποία αναφέρονται ως μικροδίκτυα. Επιπλέον ορισμένες μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), εγκαθίστανται σε κτίρια ή συγκροτήματα οι οποίες μέσω της σύνδεσής τους με το δίκτυο παροχής ενέργειας, παρέχουν την δυνατότητα όχι μόνο παραγωγής ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας (Ozadowicz, 2017).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα κτίρια αποτελούν έναν από τους πιο ενεργειακούς τομείς και μάλιστα αντιπροσωπεύουν περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο. Έχοντας αυτό ως δεδομένο είναι λογικό τα κτίρια να διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην έννοια των έξυπνων δικτύων ((Smart Grids, (SG)), καθώς θεωρούνται πρωτίστως ως καταναλωτές αλλά βέβαια με την σταδιακή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τόσο στις κτιριακές εγκαταστάσεις όσο και στα νοικοκυριά, επιπρόσθετα δόθηκε και η δυνατότητα μετατροπής τους και ως παραγωγούς. Έτσι υπό αυτό το σκεπτικό θα υπάρξουν παραγωγοί όπου με την χρήση κατάλληλων μονάδων οι οποίες βέβαια θα είναι εξοπλισμένες με την κατάλληλη τεχνική υποδομή τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και σε επίπεδο αποθήκευσης ενέργειας, όπου θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν ατομικά ή και τοπικά μικροδίκτυα. Η παραγωγή η οποία προέρχεται από ένα μικροδικτύο ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), αποτελεί μια μορφή διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας, με την δυνατότητα ελέγχου τόσο της παραγωγής στο εργοστάσιο όσο και της διαχείρισης της ζήτησης για την ισχύ που απαιτείται για την ικανοποίηση των

απαιτήσεων σε σχέση με την παροχή τοπικής ισχύος και των συνθηκών που επιτρέπουν την έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο εφόσον αυτή βέβαια απαιτείται. Η ιδέα αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και να λειτουργήσει τόσο σε ηλεκτρικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος ((Alternating Current, (AC)) όσο και συνεχούς ρεύματος ((Direct Current, (DC)), καθώς επίσης και σε συστήματα παραγωγής και διανομής θερμικής ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως της παραγωγής ενέργειας από την αυξανόμενη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αλλά και της αυξανόμενης ζήτησης για ισχύ, οι παραγωγοί των μικροδικτύων ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), απαιτούν αξιόπιστους και αποτελεσματικούς μηχανισμούς για την διαχείριση καταστάσεων όπως π.χ. αποτελούν οι περιπτώσεις των επιτόπιων ενεργειακών αναγκών, της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης αλλά και των υπηρεσιών υποστήριξης συστήματος ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), επιτρέποντας έτσι την συνεργασία με άλλα μικροδίκτυα αποτελεσματικά για να συνεισφέρουν με την συμμετοχή τους σε προγράμματα ενεργειακής διαχείρισης που υλοποιούνται στο λεγόμενο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)). Οι μηχανισμοί, οι τεχνολογίες αλλά και τα εργαλεία διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), μπορούν να συμβάλουν στην υλοποίηση τέτοιων των στόχων.

Αρκετές έννοιες που σχετίζονται με την διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), σε σχέση με τα μικροδίκτυα, έχουν προταθεί και ερευνηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και δίνουν έμφαση κυρίως στον βέλτιστο προγραμματισμό των φορτίων όπως π.χ. αποτελεί η περίπτωση της χρήσης των πλυντηρίων ρούχων, σε συνδυασμό πάντα με τις περιπτώσεις όπου η ισχύς θα είναι φθηνότερη αλλά και του γεγονότος ότι οι μεταβολές θα εμφανίζονται κατά την χρήση των φορτίων, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη και τις προτιμήσεις των καταναλωτών (Ozadowicz, 2017).

Βέβαια πέρα από αυτό το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), που αφορά τους παραγωγούς των μικροδικτύων ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), θα πρέπει να εξεταστεί και η διαθεσιμότητα ενέργειας που υπάρχει από την πλευρά χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αλλά και από την περίπτωση της αποθήκευσης της ενέργειας, έχοντας βέβαια στο πίσω μέρος του μυαλού ότι εδώ το επίπεδο πρόβλεψης θα είναι περιορισμένο, λόγω του επηρεασμού

που επικρατεί σε μεγάλο βαθμό λόγω της μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών, όπως π.χ. είναι τα ποσοστά ηλιοφάνειας, η ταχύτητα του ανέμου κ.α. μεταβαλλόμενες συνθήκες. Έχοντας κατά νου όλες τις προαναφερθείσες πτυχές έχει προταθεί μια νέα φιλοσοφία σε σχέση πάντα με το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), η οποία αφορά τους παραγωγούς των μικροδικτύων, όπου εδώ παρέχεται ευελιξία και αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των φορτίων και των ενεργειακών πηγών σε τοπικό επίπεδο, καθώς και των παραγωγών με δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων και ανταπόκρισης σε αιτήματα που αφορούν πληροφορίες που σχετίζονται με την τιμολόγηση της ενέργειας όπως π.χ. είναι τα (τιμολόγια), πιθανά κίνητρα ή ακόμα και με μειώσεις της ζήτησης ισχύος. Ένα σχετικά πρόσφατο παράδειγμα το οποίο αφορά τα μικροδίκτυα αλλά και τα έξυπνα δίκτυα αποτελεί ο συνδυασμός μεταξύ πληροφορίας και ενέργειας που αποσκοπεί στο να μπορέσουν να επιτευχθούν συναλλαγές οι οποίες εμπίπτουν σε συντονισμένη αυτό-βελτιστοποίηση δίνοντας παράλληλα και την δυνατότητα τόσο στους πελάτες λιανικής όσο και στους παραγωγούς να συμμετέχουν αποτελεσματικά στον μηχανισμό αγοράς και πώλησης της ενέργειας. (Ozadowicz, 2017).

Για να λειτουργήσει σωστά ένα ενεργό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), θα πρέπει όλες οι συσκευές, οι πηγές ενέργειας και αποθήκευσης στην μονάδα παραγωγής των μικροδικτύων ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), να είναι εξοπλισμένες με έξυπνες μονάδες με δυνατότητα μεταξύ τους διασύνδεσης, επιτρέποντάς τους με αυτόν τον τρόπο να ανταλλάσσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, πράγμα που αποτελεί και ένα στοιχείο το οποίο θα διαδραματίσει κεντρικό ρόλο τόσο στα μικροδίκτυα όσο και στις εξελίξεις των έξυπνων δικτύων ((Smart Grids, (SG)). Το σημαντικό κομμάτι εδώ είναι ότι δίνεται η δυνατότητα στους καταναλωτές αλλά και στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας να χρησιμοποιούν σήματα σε πραγματικό χρόνο συμπεριλαμβανομένων π.χ. την χρήση παραμέτρων από αισθητήρες, των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, των σημάτων κινήτρων κλπ.

Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω στοιχείων αποτελεί ότι υπό αυτήν την σκοπιά δίνεται η δυνατότητα τόσο στους εμπλεκόμενους είτε πρόκειται για παραγωγούς, είτε για πελάτες να διαχειρίζονται την ενέργεια και πέραν της κατανάλωσης της ενέργειας να μπορούν να διοχετεύουν ενέργεια πουλώντας την στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο οι μονάδες παραγωγής ενέργειας των μικροδικτύων ((Energy efficient prosumer microgrids,

(PMGs)), αποτελούν ευέλικτες πηγές ενέργειας για την προοπτική των έξυπνων δικτύων ((Smart Grids, (SG)), καθώς επίσης παρέχουν και αποτελεσματικά μέσα για την εξοικονόμηση ενέργειας, εφαρμόζοντας στρατηγικές ενεργειακής διαχείρισης, όπου εν συνεχεία να προσβλέπει και στην συνολική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του δικτύου.

Δεδομένου ότι τα κτίρια ή τα νοικοκυριά με την υποδομή τους αποτελούν συχνά αναπόσπαστο κομμάτι των μονάδων παραγωγής ενέργειας των μικροδικτύων ((Energy efficient prosumer microgrids, (PMG)), είναι εφικτή η χρήση της υποδομής τους ιδιαίτερα των δικτύων επικοινωνίας που σχετίζονται με την χρήση αυτοματισμών, παρέχοντας μια αποτελεσματική πλατφόρμα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο που αφορά το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Οι νέες προκλήσεις που αναφέρονται στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών ((Information and Communication Technologies, (ICT)), καθώς και στα συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου των κτιρίων, επικεντρώνονται σε μεθόδους και εργαλεία που σχετίζονται με παράγοντες όπως π.χ. είναι η παρακολούθηση, ο έλεγχος αλλά και η βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας μέσω της ροής διαχείρισης δεδομένων ενέργειας κ.α. (Ozadowicz, 2017).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 7.1 Αλγόριθμος (UTARM) συσχέτισης μεταξύ του χρόνου χρήσης και του είδους της συσκευής μέσω της χρήσης δεδομένων από την εφαρμογή έξυπνου μετρητή.

Τα προγράμματα που αναφέρονται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη λύσεων σε σχέση με την διαχείριση της ενέργειας. Η επίτευξη της εμπιστοσύνης έναντι των οικιακών καταναλωτών αλλά και ο σεβασμός των προτιμήσεων χρήσης των συσκευών τους, αποτελούν βασικούς παράγοντες για την προώθηση αυτών των προγραμμάτων. Η εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με την συμπεριφορά των καταναλωτών αποτελεί μια δύσκολη εργασία, λόγω της τεράστιας ποσότητας δεδομένων που δημιουργούνται από τους έξυπνους μετρητές. Η κύρια συμβολή αυτού του κομματιού της διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή χρονικών συσχετιστικών μοτίβων κατανάλωσης της ενέργειας σε επίπεδο συσκευής. Επίσης η συγκεκριμένη έρευνα επεκτείνει τα οφέλη από την εφαρμογή του αλγόριθμου ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), ο οποίος προσανατολίζεται τόσο στην χρησιμότητα όσο και στην ανακάλυψη των προτιμήσεων χρήσης των διαφόρων συσκευών κάθε φορά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό το κομμάτι της έρευνας, κατάφεραν να αναδείξουν την συσχέτιση μεταξύ του χρόνου χρήσης της συσκευής αλλά και το είδος της συσκευής, θεωρώντας έτσι την προτεραιότητα χρήσης των συσκευών, ως παράγοντα χρησιμότητας σε σχέση πάντα έναντι των 24 ωρών της ημέρας, όπου και θεωρείται ως παράγοντας χρονικού διαχωρισμού (Osama et al., 2019).

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από τον Cooper (2017), ανέδειξε ότι η ανταπόκριση στην ταχεία ζήτηση της ενέργειας, οδήγησε τόσο τις κυβερνήσεις όσο και τις βιομηχανίες στην μεγάλη ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών. Σημειώνεται ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών έφτασε τα 76 εκατομμύρια συσκευές για το έτος 2016 και αναμένεται να φτάσει περίπου τα 90 εκατομμύρια συσκευές έως το τέλος του 2020, σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Καινοτομίας. Επίσης άλλη έρευνα έδειξε ότι στην Γερμανία, η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών έφτασε τα 47,9 εκατομμύρια



συσκευές, στην Ιταλία έφτασε τα 36,7 εκατομμύρια συσκευές, στην Γαλλία τα 35 εκατομμύρια συσκευές, ενώ τέλος στην Ισπανία έφτασε τα 27,77 εκατομμύρια συσκευές.

Στην εποχή μας οι έξυπνοι μετρητές θεωρούνται ένα από τα κύρια εργαλεία για την προετοιμασία της μετάβασης στο περιβάλλον του λεγόμενου έξυπνου δικτύου. Ορισμένες φορές χαρακτηρίζονται και ως “ακρογωνιαίος λίθος του έξυπνου δικτύου”. Οι έξυπνοι μετρητές ((Smart Meter, SM)), μετρούν την καταναλώμενη ισχύ σε συχνή βάση, σύμφωνα με ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, όπου εν συνεχεία στέλνουν αυτά τα δεδομένα σε ειδικά βοηθητικά προγράμματα. Η απίστευτη αυτή ποσότητα ροής δεδομένων μεταδίδεται μέσω των έξυπνων μετρητών. Αυτά τα δεδομένα αποτελούν δεδομένα χρονοσειρών, όπου τόσο τα πρότυπα κατανάλωσης όσο και οι προτιμήσεις χρήσης της ενέργειας αλλάζουν συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Έτσι π.χ. οι συσκευές θέρμανσης χρησιμοποιούνται έντονα το χειμώνα, ενώ αντίθετα οι συσκευές κλιματισμού χρησιμοποιούνται περισσότερο το καλοκαίρι. Τα δεδομένα των χρονολογικών σειρών αποκαλύπτουν ότι ορισμένα ευρήματα ενδέχεται να λήξουν με την πάροδο του χρόνου και ότι θα πρέπει να ανακαλυφθούν νέα. Υπό αυτό το σκεπτικό εισάγεται το παράδειγμα της συσχέτισης μεταξύ του χρόνου ο οποίος αναφέρεται στον χρόνο χρήσης της συσκευής και της συσκευής η οποία αναφέρεται στο είδος της εκάστοτε συσκευής, όπου βάσει αυτής της προσέγγισης η χρήση της κάθε συσκευής συνδέεται πάντα με έναν συγκεκριμένο χρόνο σύμφωνα πάντα με τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Αυτή η ώρα μπορεί να εμπίπτει είτε σε μια συγκεκριμένη ώρα, είτε διαφορετικά σε κάποια ημέρα, εβδομάδα, μήνα ή ακόμα και σεζόν (Osama, et al., 2020).

Η ανάλυση των παραπάνω δεδομένων παρήγαγε πολύ ελπιδοφόρα μηνύματα τόσο για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών όσο και για την ανάπτυξη λύσεων σε σχέση με την διαχείριση της ενέργειας. Μια τέτοια ανάλυση προσδίδει μεγάλο όφελος τόσο για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όσο και για τους οικιακούς καταναλωτές. Τα βοηθητικά προγράμματα μπορούν να αναπτύξουν διάφορες εφαρμογές, όπως π.χ. είναι η παρακολούθηση της καταναλώμενης ενέργειας, η ανίχνευση τόσο των σφαλμάτων όσο και των διακοπών, η λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την ανακατανομή της ισχύος αλλά και η ανάπτυξη των προγραμμάτων ((Demand Response, (DR)), που αντιστοιχούν σε μία μερίδα πελατών με παρόμοια συμπεριφορά κατανάλωσης. Οι οικιακοί καταναλωτές απέτυχαν στο να εξοικονομήσουν ενεργειακό κέρδος σε σχέση με την καθημερινή τους δραστηριότητα, λόγω της έλλειψης σχετικής γνώσης πάνω στο κομμάτι

που αφορά την κατανάλωση των συσκευών τους. Το μόνο μέτρο σύγκρισης που έχουν οι οικιακοί καταναλωτές είναι οι λογαριασμοί του ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίοι δεν τους βοηθούν να καταλάβουν το τι πράγμα θα πρέπει να αλλάξουν ώστε να αυξήσουν ή να μειώσουν κάτι έτσι ώστε να επέλθει ισορροπία μεταξύ κέρδους σε σχέση πάντα με την κατανάλωση της ενέργειας τους και της κάλυψης των αναγκών τους. Οι οικιακοί καταναλωτές θα μπορούν να έχουν καλύτερο έλεγχο σε σχέση με την χρήση της ενέργειας τους, όταν θα τους δοθεί η δυνατότητα της πληροφόρησης σχετικά με τα στοιχεία κατανάλωσης της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Η ευαισθητοποίηση τους θα τους οδηγήσει σε μια καλύτερη συμπεριφορά χρήσης αλλά και εξοικονόμησης της ενέργειας.

Η ενέργεια που καταναλώνεται σε οικιακές εγκαταστάσεις ανταποκρίνεται στις δραστηριότητες των χρηστών αλλά και την συμπεριφορά τους κατά την χρήση αυτών των συσκευών. Η καθημερινή ζωή των οικιακών καταναλωτών ακολουθεί μια κατάσταση συνήθειας λεγόμενη και ως ρουτίνα η οποία καθιστά δυνατή την μελέτη αλλά και κατανόηση των προτιμήσεών τους, όπως π.χ. τόσο ο φούρνος μικροκυμάτων όσο και η καφετιέρα χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια του πρωινού, αντίθετα ο φούρνος αλλά και τα φώτα κουζίνας χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια του δείπνου. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των οικιακών καταναλωτών αλλά και ο σεβασμός έναντι των προτιμήσεών τους θα προωθηθούν μέσω των προσαρμμάτων ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response (DR)), για τα οποία έγινε εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6, όπου και θα εγγραφούν για την αποτελεσματική χρήση της ενέργειας. Τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response (DR)), δεν έχουν επιτύχει ακόμα τα επιθυμητά αποτελέσματα & στόχους για την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας που αφορά στον οικιακό τομέα. Ένας από τους κύριους παράγοντες είναι η έλλειψη γνώσης των προτιμήσεων χρήσης των οικιακών καταναλωτών. Για αυτό τον λόγο οι οικιακοί καταναλωτές δεν έχουν κίνητρα ώστε να ανταποκριθούν σε αυτά τα προγράμματα. Είναι σημαντικό να προσαρμοστούν προγράμματα ((Demand Response, (DR)), σύμφωνα με τις προτιμήσεις αυτών (Osama et al., 2020).

Το συγκεκριμένο κομμάτι της έρευνας αντιμετωπίζει την παραπάνω πρόκληση, συμβάλλοντας μέσω της εξαγωγής των χρονικών πρότυπων χρήσης των οικιακών συσκευών, λαμβάνοντας υπόψη δύο βασικούς παράγοντες:

1. Τον παράγοντα του χρόνου.

## 2. Τον παράγοντα της χρησιμότητας.

Ο συντελεστής του χρόνου, αναφέρεται στην ώρα χρήσης των συσκευών βάσει των προτιμήσεων των καταναλωτών, ενώ από την άλλη πλευρά ο συντελεστής χρησιμότητας αποτελεί την προτεραιότητα της χρήσης μιας συσκευής κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Ως βασική ιδέα για την χρήση αυτών των δύο συγκεκριμένων παραγόντων αποτελεί η βελτίωση της ποιότητας των χρονικών προτύπων, δηλαδή π.χ. ένας φούρνος μικροκυμάτων έχει υψηλότερη προτεραιότητα από έναν φορητό υπολογιστή στις 7 π.μ., δηλαδή κατά την χρονική διάρκεια του πρωινού.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία, χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), ο οποίος προσανατολίζεται στην βελτίωση της ποιότητας των εξερχόμενων χρονικών συσχετίσεων λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα χρησιμότητας των συσκευών. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αναφέρεται σε ένα σύνολο δεδομένων χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει, λόγω της χρήσης των συσκευών σε επίπεδο οικίας, ((UK Domestic Appliance-Level Electricity, (UK-DALE)) dataset. Το σύνολο των δεδομένων αντικατοπτρίζουν λεπτομερή συλλογή σε σχέση με την κατανάλωση της ενέργειας, βάσει χρήσης των συσκευών σε επίπεδο 5 κατοικιών κατά την χρονική διάρκεια 4,3 ετών από το 2012 έως το 2017, με βήμα ανάλυσης 6 δευτερολέπτων. (Osama et al., 2020).

Η συσχέτιση μεταξύ χρόνου και συσκευής, προσβλέπει στην εξαγωγή των συσκευών οι οποίες προκύπτουν βάσει των προτιμήσεων χρήσης των οικιακών καταναλωτών σε μια συγκεκριμένη στιγμή, η οποία μπορεί να ποικίλει όπως π.χ. να γίνεται αναφορά σε μια ώρα, μια ημέρα, μια εβδομάδα, έναν μήνα ή τέλος μια σεζόν. Με αυτόν τον τρόπο, ο επιλεγμένος συντελεστής-παράγοντας χρόνου, χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό της χρονικής βάσης δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, χρησιμοποιείται η ώρα ως παράγοντας του χρόνου, δεδομένου βέβαια ως επικείμενος στόχος αποτελεί η ανακάλυψη του επιπέδου συσχέτισης μεταξύ των συσκευών σε μια συγκεκριμένη ώρα. Με αυτόν τον τρόπο χαρακτηρίζεται μια συσκευή από την κατάσταση δραστηριότητάς της είτε ως OFF (ανενεργή), είτε ως ON (ενεργή), δηλαδή  $S=\{0,1\}$ , όπου βέβαια η τιμή της καταναλώμενης ενέργειας αγνοείται, δηλαδή δεν είναι γνωστή.

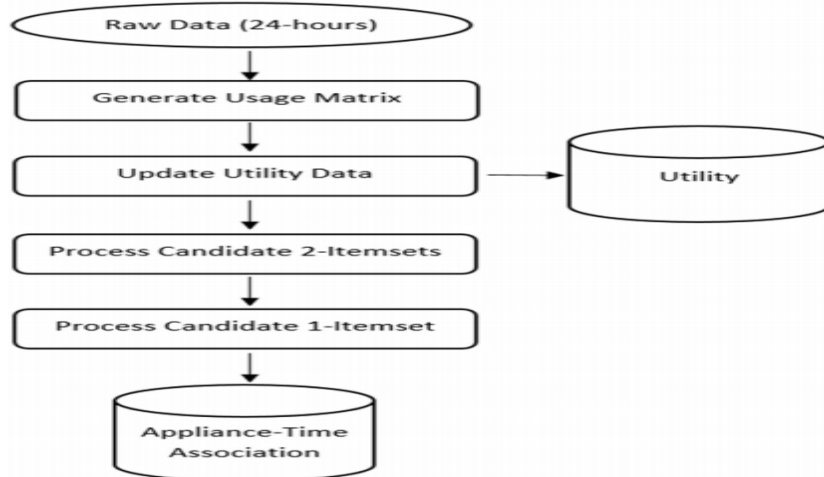
Η συγκεκριμένη μεθοδολογία χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), ο οποίος προσανατολίζεται τόσο στην χρησιμότητα

όσο και στην ανακάλυψη των προτιμήσεων χρήσης των διαφόρων συσκευών κάθε φορά, με στόχο την εξαγωγή συσχετισμού μεταξύ του χρόνου και της συσκευής. Η βασική ιδέα της χρήσης του συγκεκριμένου αλγορίθμου ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM))), αποτελεί την εξαγωγή σημαντικών χρονικών συσχετίσεων που επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις προτιμήσεις των οικιακών καταναλωτών, λαμβάνοντας υπόψη την σημασία της χρήσης μιας συσκευής ταυτόχρονα πέρα από τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής του κανόνα που ανακαλύφθηκε. Ο αλγόριθμος ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM))), συγχωνεύει δύο εργασίες απόκτησης δεδομένων ταυτόχρονα, εκ των οποίων η μια αφορά τα δεδομένα που προκύπτουν βάσει της χρονικής συσχέτισης, ενώ η δεύτερη σχετίζεται με τα δεδομένα που προκύπτουν βάσει της χρησιμότητας των διαφόρων συσκευών.

Η επίτευξη της χρονικής συσχέτισης αναφέρεται στην διαδικασία εξαγωγής των κανόνων χρονικής συσχέτισης σύμφωνα με τα δεδομένα των χρονοσειρών. Οι κανόνες χρονικής συσχέτισης αποτελούν μια επέκταση των συχνών στοιχείων που προκύπτουν στους κανόνες συσχέτισης υπό την άποψη της διάστασης του χρόνου. Η βασική ιδέα της χρονικής διάστασης, είναι ότι κάθε κανόνας συσχέτισης μπορεί να βρίσκεται σε ισχύ για μια χρονική περίοδο, όπου μερικές φορές ονομάζεται είτε ως περίοδος έκθεσης, είτε ως διάρκεια ζωής. Με αυτόν τον τρόπο ανακαλύπτονται οι συσκευές οι οποίες εμφανίζονται συχνότερα μαζί σε μια συγκεκριμένη ώρα και διαρκεί για μια περίοδο (exhibition) χρήσης.

Η επίτευξη αποτελεσμάτων τα οποία προσανατολίζονται στο στοιχείο της χρησιμότητας αποτελούν την διαδικασία εξαγωγής συχνών αντικειμένων που υπόκεινται σε κάποιο παράγοντα βάρους ή αλλιώς σημασίας. Κάθε στοιχείο μέσα στο σετ των αντικειμένων έχει διαφορετικό βάρος. Ο συγκεκριμένος συντελεστής βάρους εκφράζεται ως συντελεστής χρησιμότητας, ο οποίος αποτελεί συνάρτηση τόσο των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών μέτρων χρησιμότητας. Το λεγόμενο ((Internal Utility, (IU))), το οποίο αναφέρεται στην εσωτερική χρησιμότητα και αποτελεί μια ποσοτική τιμή που μετρά την ποσότητα ενός αντικειμένου σε ένα σύνολο στοιχείων, ενώ από την άλλη μεριά το ((External Utility, (EU))), το οποίο αναφέρεται στην εξωτερική χρησιμότητα και αποτελεί μια τιμή που αντικατοπτρίζει την σημασία ενός αντικειμένου μέσα από ένα σύνολο στοιχείων. Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε τμήματα των 24 ωρών στο τέλος κάθε ημέρας. Σε πρώτο πλάνο γίνεται αρχικά προεπεξεργασία των μη επεξεργασμένων δεδομένων,

δημιουργώντας έναν πίνακα χρήσης, εν συνεχεία ακολουθεί η ενημέρωση των βοηθητικών δεδομένων και τέλος εξάγονται τα δεδομένα που αναφέρονται στην προτίμηση χρήσης των συσκευών, ανακαλύπτοντας έτσι την συσχέτιση μεταξύ χρόνου και συσκευής. Η προτεινόμενη αυτή μεθοδολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 7.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα μεθοδολογίας συσχέτισης μεταξύ χρόνου και συσκευής. Source: (Osama et al., 2020).

Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτυγχάνεται μέσω διεξαγωγής δύο φάσεων:

1. Προετοιμασία των δεδομένων, (Data Preparation).
2. Εξαγωγή συσχέτισης μεταξύ συσκευής και χρόνου, (Extracting Appliance-Time Association).

Το σύνολο των δεδομένων ((UK Domestic Appliance-Level Electricity, (UK-DALE)) dataset, αποτελούν ένα σύνολο βάσης δεδομένων πραγματικών στοιχείων των καταναλωτών, όπου συγκεντρώνονται αρχεία καταγραφής της οικιακής κατανάλωσης 5 κατοικιών με διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι μετρήσεις καταγράφονται σε επίπεδο συσκευής, με χρονική λεπτομέρεια 6 δευτερολέπτων. Κάθε κομμάτι καταγραφής κατανάλωσης αναγράφει την ισχύ που καταναλώνεται σε watt αλλά και την αντίστοιχη χρονική στιγμή. Ο Πίνακας 6 δείχνει μια σύνοψη της προδιαγραφής του συνόλου αυτών των δεδομένων. (Osama et al., 2020).

Πίνακας 6. Προδιαγραφή του συνόλου δεδομένων ((UK Domestic Appliance-Level Electricity, (UK-DALE)) dataset καταγραφής οικιακής κατανάλωσης των 5 κατοικιών.

Dwelling	Number of Appliances	Duration	Start Date	End Date
Dwelling 1	52	4.3 years	09-11-2012	26-04-2017
Dwelling 2	18	8 months	17-02-2013	10-10-2013
Dwelling 3	4	2 months	27-02-2013	08-04-2013
Dwelling 4	5	7 months	09-03-2013	01-10-2013
Dwelling 5	24	5 months	29-06-2014	13-11-2014

Source: (Osama et al., 2020).

Στο συγκεκριμένο σημείο αυτής της έρευνας, το σύνολο των δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή της οικιακής κατανάλωσης των 5 κατοικιών, έχουν προεπεξεργαστεί σε τμήματα των 24 ωρών στο τέλος κάθε ημέρας. Μόνο μία εγγραφή αποθηκεύεται στην βάση δεδομένων για κάθε ημέρα η οποία κρατά την ημερομηνία καθώς και την παραγωγή ενός πίνακα χρήσης, του οποίου το μέγεθος  $24 * N$ , όπου  $N$  αντιστοιχεί στον αριθμό των εμπλεκόμενων συσκευών. Δεδομένου ότι η παρούσα έρευνα εστιάζει στην συσχέτιση μεταξύ των συσκευών και της ώρας, κάθε κελί στον πίνακα χρήσης κρατά μια σημαία (flag), με επιτρεπτές τιμές 0 ή 1, η οποία δείχνει την δραστηριότητα της κάθε συσκευής κατά την αντίστοιχη ώρα, έτσι προκύπτει μια αντιστοίχιση της κατάστασης, δηλαδή όταν η σημαία  $flag=0$ , τότε η συσκευή είναι OFF, δηλαδή ανενεργή, ενώ διαφορετικά όταν η σημαία  $flag=1$ , τότε η συσκευή είναι ON, δηλαδή ενεργή. Ο κύριος στόχος από αυτήν την φάση, είναι η εξαγωγή μόνο των απαραίτητων δεδομένων για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης καθώς και η μείωση του χώρου αποθήκευσης που απαιτείται για την βάση δεδομένων.

Σε σχέση τώρα με τον συσχετισμό μεταξύ του χρόνου και της συσκευής ως βασική ιδέα αυτής της έρευνας αποτελεί η εξαγωγή των κανόνων συσχέτισης μεταξύ της εμπλεκόμενης συσκευής και του χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή χρησιμότητας που υπολογίζεται ανά ώρα, καθώς επίσης και της περιόδου χρήσης για τον κανόνα συσχέτισης που ανακαλύφθηκε. Η περίοδος χρήσης καθορίζει την εγκυρότητα του κανόνα που ανακαλύφθηκε καθώς τόσο η συμπεριφορά όσο και οι προτιμήσεις των οικιακών καταναλωτών αλλάζουν με τον χρόνο.

Ο παράγοντας ((Utility, (U)), αποτελεί μια τιμή η οποία αντικατοπτρίζει το βάρος ή αλλιώς την σημασία που έχει η συσκευή όταν βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση σε μια

ώρα. Κάθε συσκευή έχει ένα εσωτερικό βοηθητικό πρόγραμμα (internal utility) όσο και ένα εξωτερικό βοηθητικό πρόγραμμα (external utility).

- Το εσωτερικό βοηθητικό πρόγραμμα (internal utility), αποτελεί μια τιμή για την μέτρηση της ποσότητας ενός αντικειμένου σε ένα συμβάν. Έτσι, υπολογίζεται ως ο αριθμός των ημερών όπου η συσκευή καταγράφηκε ως ενεργή σε μια συγκεκριμένη ώρα.
- Από την άλλη πλευρά το εξωτερικό βοηθητικό πρόγραμμα (external utility), αποτελεί μια τιμή για την μέτρηση της σημασίας ή της προτεραιότητας ενός αντικειμένου. Υπολογίζεται ως η πιθανότητα ότι μια συσκευή είναι ενεργή σε μια συγκεκριμένη ώρα σε όλες τις καταγεγραμμένες ημέρες. Η μέτρηση της χρησιμότητας μιας συσκευής είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού μεταξύ του εσωτερικού βοηθητικού προγράμματος (internal utility) και του εξωτερικού βοηθητικού προγράμματος (external utility), κάθε ώρα της ημέρας.

Κάθε εμπλεκόμενο διαχωρισμένο τμήμα στην βάση δεδομένων των συναλλαγών, έχει μια τιμή χρησιμότητας που ονομάζεται ((Transaction Weighted Utility, (TWU)). Εφόσον χρησιμοποιείται η ώρα ως παράγοντας διαχωρισμού, τότε κάθε ώρα έχει μια τιμή βάρους η οποία υπολογίζεται ως η μέγιστη ((Internal Utility, (IU)), η οποία αναφέρεται στην εσωτερική χρησιμότητα και αποτελεί μια ποσοτική τιμή που μετρά την ποσότητα ενός αντικειμένου σε ένα σύνολο στοιχείων, η οποία πολλαπλασιάζεται με την μέγιστη ((external utility, (EU)), η οποία αναφέρεται στην εξωτερική χρησιμότητα και αποτελεί μια τιμή που αντικατοπτρίζει την σημασία ενός αντικειμένου μέσα από ένα σύνολο στοιχείων και προκύπτει από οποιαδήποτε συσκευή την αντίστοιχη ώρα.

Επίσης παρατηρείται απεριόριστη ροή δεδομένων η οποία οφείλεται στην ύπαρξη των έξυπνων μετρητών. Επομένως, τα δεδομένα θα πρέπει να υποβάλλονται σε μια επεξεργασία υπό μια σταδιακή προσέγγιση. Ο αλγόριθμος ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), (mines) κατατάσσει τα δεδομένα στο τέλος κάθε ημέρας σε τμήματα των 24 ωρών.

Αρχικά ο αλγόριθμος ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), κατά την εφαρμογή του ξεκινάει με μια ενημέρωση των μέτρων χρησιμότητας για κάθε συσκευή κάθε ώρα. Εάν η συσκευή έχει καταγραφεί ως ενεργή, δηλαδή όπου η τιμή της σημαίας θα έχει την τιμή 1 σε κάποια ώρα, η τιμή ((Internal Utility, (IU)), θα αυξηθεί κατά μια μονάδα. Από την άλλη πλευρά η τιμή της ((external utility, (EU)), θα ενημερωθεί

καθώς ο αριθμός των καταγεγραμμένων ημερών έχει αυξηθεί επιπλέον της ενημέρωσης της τιμής χρησιμότητας της ώρας.

Εν συνεχεία το επόμενο βήμα του αλγορίθμου είναι να δημιουργήσει τα υποψήφια σύνολα μεταξύ δύο ειδών των οικιακών συσκευών. Ένα υποψήφιο σύνολο δύο τεμαχίων αντιπροσωπεύεται από τον συνδυασμό δύο συσκευών, δηλαδή η συσκευή 1 (a1) και η συσκευή 2 (a2) αντιπροσωπεύουν έναν υποψήφιο σύνολο. Κάθε υποψήφιο σύνολο υποβάλλεται σε επεξεργασία κάθε ώρα της ημέρας. Σε περίπτωση που το υποψήφιο σύνολο έχει καταγραφεί ως ενεργό κάποια ώρα της ημέρας, η περίοδος χρήσης του υποψηφίου συνόλου θα ενημερωθεί με την ημερομηνία της επεξεργασμένης ημέρας και η συχνότητα του υποψηφίου συνόλου θα αυξηθεί. Η συχνότητα ((Frequency, (FU)), αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ημερών όπου οι συσκευές a1 και a2 εμφανίζονται να είναι ενεργές κάποια ώρα.

Η τιμή χρησιμότητας για κάθε υποψήφιο σύνολο ενημερώνεται είτε έχει καταγραφεί ως ενεργό είτε όχι. Το βοηθητικό πρόγραμμα των υποψηφίων συνόλων που απαρτίζονται από δύο είδη οικιακών συσκευών, αποτελεί το άθροισμα των τιμών χρησιμότητας για κάθε στοιχείο στο υποψήφιο σύνολο. Κάθε υποψήφιο σύνολο στελεχώνεται από ένα συχνό χρονικό βοηθητικό πρόγραμμα ((Frequent Temporal Utility, (FTU)), το οποίο μετρά την τιμή υποστήριξης του υποψηφίου συνόλου λαμβάνοντας υπόψη τον χρονικό παράγοντα. Αποτελεί μια συνάρτηση του υποψηφίου συνόλου μεταξύ των δύο ειδών οικιακών συσκευών και της τιμής χρησιμότητας ((Transaction Weighted Utility, (TWU)). Ο αλγόριθμος 1 περιγράφει τα βήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη περίπτωση επεκτείνοντας τον αλγόριθμο ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM) (Osama et al., 2020).



Αλγόριθμος 1 εξαγωγή συσχέτισης μεταξύ συσκευής και χρόνου.

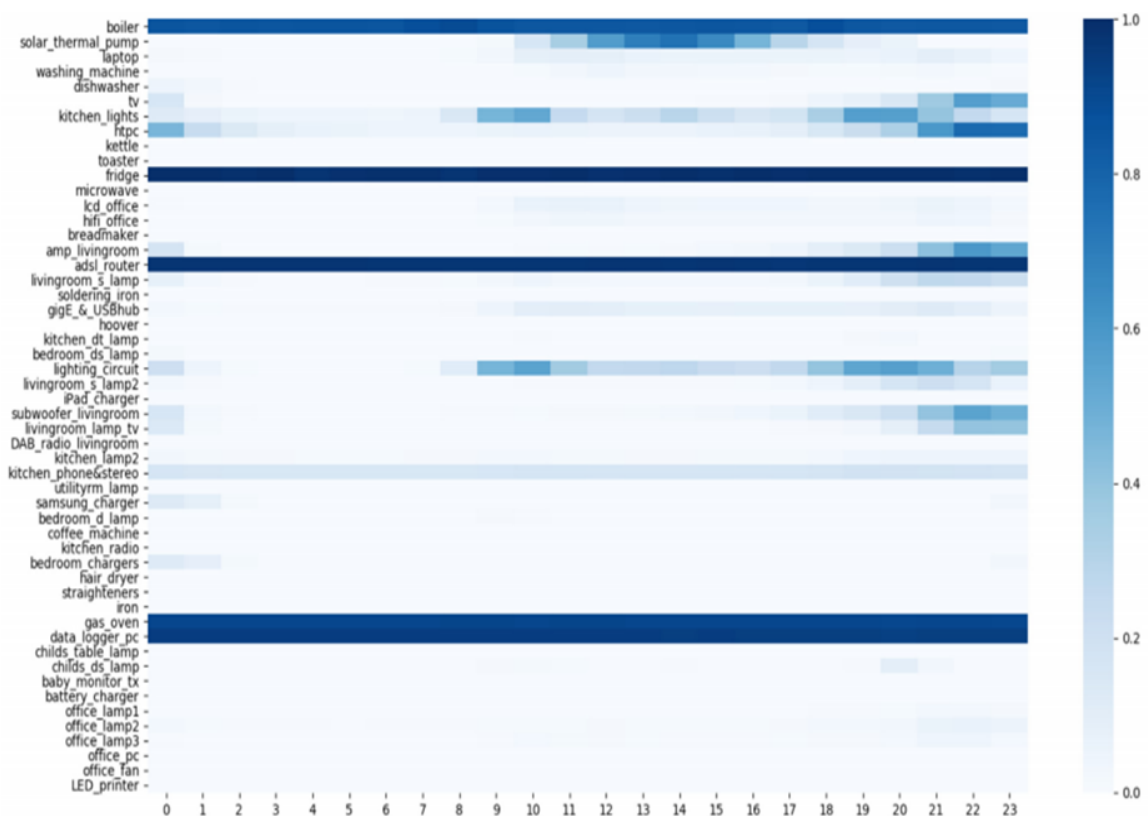
```
Require: minimum support minsup  
Ensure: Utility-Oriented Temporal Association Rules  
1:   for each hour (h) in 24-hours do  
2:     for each appliance (a) in dwelling appliances do  
3:       if a.isActiveh then  
4:          $a.IU^h = a.IU^h + 1$   
5:       end if  
6:        $a.EU^h = \text{active days count} / \text{total days count}$   
7:        $a.U^h = a.IU^h * a.EU^h$   
8:     end for  
9:      $TWU^h = \max(IU^h) * \max(EU^h)$   
10:  end for  
11:  candidate2 ← generate candidate 2-itemsets  
12:  for each item (a1, a2) in candidate2 do  
13:    for each hour (h) in 24-hours do  
14:      if item.isActiveh then  
15:        if item.startAth is null then  
16:          item.startAth = date of the day  
17:        end if  
18:        item.endAth = date of the day  
19:         $item.FU^h = item.FU^h + 1$   
20:      end if  
21:       $item.U^h = (IU_{a1}^h * EU_{a1}^h) + (IU_{a2}^h * EU_{a2}^h)$   
22:       $item.FTU^h = (FU^h * U_{a1, a2}^h) / (2 * TWU^h)$   
23:      if  $item.FTU^h > minsup$  then  
24:         $a1.FTU^h = (FU_{a1}^h * U_{a1}^h) / (TWU^h)$   
25:         $a2.FTU^h = (FU_{a2}^h * U_{a2}^h) / (TWU^h)$   
26:      end if  
27:    end for  
28:  end for
```

Source: (Osama et al., 2020).

Ο αλγόριθμος ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)), προσδιορίζει την εγκυρότητα του κανόνα συσχέτισης μέσω της περιόδου χρήσης του, καθώς ορισμένοι κανόνες ενδέχεται να λήξουν με την αλλαγή συμπεριφοράς των οικιακών καταναλωτών.

Σε αυτό το σημείο της διπλωματικής εργασίας γίνεται μια εκτενέστερη ανάλυση ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου ((Utility Based Temporal Association Rule Mining, (UTARM)). Από όσα γνωρίζουμε, η συγκεκριμένη ερευνητική μέθοδος είναι η πρώτη που εξετάζει την χρησιμότητα των συσκευών σε σχέση με τον χρόνο. Η αρχιτεκτονική αυτής της μεθοδολογίας κατάφερε να αναδείξει σταδιακά τα δεδομένα των έξυπνων μετρητών, χωρίς να εμφανίσει ολόκληρη την βάση δεδομένων όποτε δημιουργούνται νέα δεδομένα.

Στην συνέχεια αναδεικνύονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το κάθε σπίτι χρησιμοποιώντας έναν χάρτη θερμότητας (heatmap), στον οποίο οι συσκευές εμφανίζονται στον άξονα Y, ενώ αντίστοιχα οι 24 ώρες εμφανίζονται στον άξονα X, όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 και 7.6. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή υποστήριξης που υπολογίζεται, τόσο μεγαλύτερη είναι και η συσχέτιση μεταξύ της χρήσης της συσκευής και της ώρας. Επιπλέον, έχουμε παρουσιάσει συσκευές με τιμές υποστήριξης υψηλότερες από 0,5 μαζί με τις περιόδους χρήσης τους για κάθε οικία.



Σχήμα 7.2. Συσχέτιση μεταξύ συσκευών και ώρας για την οικία 1. Source: (Osama et al., 2020).

Από το Σχήμα 7.2 προκύπτει ότι:

- Η ηλιακή θερμική αντλία `solar_thermal_pump`, χρησιμοποιείται ιδιαίτερα τις απογευματινές ώρες και αυτό συμβαίνει επειδή το φως του ήλιου υπάρχει κυρίως αυτή την χρονική περίοδο, αλλά δεν είναι ενεργό τις βραδινές ώρες.
- Ορισμένες συσκευές συνδέονται ταυτόχρονα τις ίδιες ώρες, όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση που αφορά τον χώρο του καθιστικού με την ταυτόχρονη χρήση τόσο του ενισχυτή `amp_livingroom`, όσο και του υπογούφερ `subwoofer_livingroom` αλλά

και της λάμπας τηλεόρασης livingroom\_lamp\_tv, όπου παρατηρείται να έχουν παρόμοιες τιμές υποστήριξης.

- Επιπλέον, οι φορτιστές samsung\_charger και bedroom\_charger χρησιμοποιούνται μαζί το βράδυ.

Ο Πίνακας 7 αντιπροσωπεύει ένα δείγμα που αφορά την οικία 1 σχετικά με τις τιμές υποστήριξης των οικιακών συσκευών σε σχέση με την ώρα και τις περιόδους χρήσης τους.

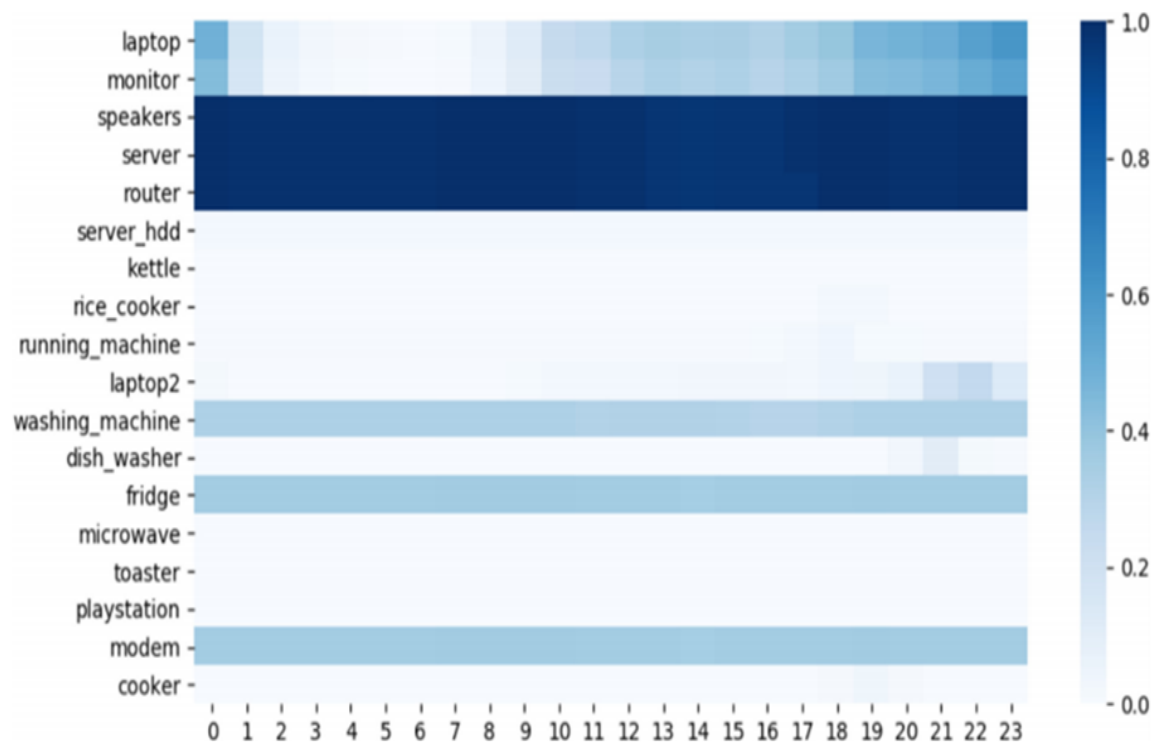
Πίνακας 7. Δείγμα συσχέτισης μεταξύ οικιακού εξοπλισμού (συσκευών) και ώρας για την οικία 1.

Appliance	FTU	Hour	From	To
boiler	0.84–0.89	0–23	1-1-2013	26-4-2017
solar_thermal_pump	0.58	12	1-1-2013	26-4-2017
solar_thermal_pump	0.70	13	1-1-2013	26-4-2017
solar_thermal_pump	0.74	14	1-1-2013	26-4-2017
solar_thermal_pump	0.65	15	1-1-2013	26-4-2017
tv	0.57	22	1-1-2013	25-4-2017
tv	0.51	23	1-1-2013	25-4-2017
kitchen_lights	0.53	10	1-1-2013	26-4-2017
kitchen_lights	0.57	19	1-1-2013	25-4-2017
kitchen_lights	0.56	20	1-1-2013	25-4-2017
htpc	0.60	21	1-1-2013	25-4-2017
htpc	0.77	22	1-1-2013	25-4-2017
htpc	0.77	23	1-1-2013	25-4-2017
fridge	0.98–1.00	0–23	1-1-2013	26-4-2017
amp_livingroom	0.59	22	1-1-2013	25-4-2017
amp_livingroom	0.53	23	1-1-2013	25-4-2017
adsl_router	0.97–0.98	0–23	1-1-2013	24-3-2017
lighting_circuit	0.54	10	13-3-2013	26-4-2017
lighting_circuit	0.54	19	12-3-2013	26-4-2017
lighting_circuit	0.56	20	12-3-2013	25-4-2017
subwoofer_livingroom	0.54	22	12-3-2013	25-4-2017
gas_oven	0.91	0–23	14-3-2013	26-4-2017
data_logger_pc	0.94	0–23	14-3-2013	26-4-2017

Source: (Osama et al., 2020).

Από τον Πίνακα 7 παρατηρείται ότι η περίπτωση της ηλιακής θερμικής αντλίας solar\_thermal\_pump, έχει υψηλές τιμές υποστήριξης κατά τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα από τις 12:00 έως τις 15:00.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα που αφορούν την οικία 2, τα οποία και παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3. Συσχέτιση μεταξύ συσκευών και ώρας για την οικία 2. Source: (Osama et al., 2020).

Από το Σχήμα 7.3, προκύπτουν τα εξής:

- Είναι προφανές ότι τα ηχεία (speakers), ο διακομιστής (server), ο δρομολογητής (router) και το μόντεμ (modem), είναι οι πιο ενεργές συσκευές, δηλαδή αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο κατά την διάρκεια των 24 ωρών, αποκαλύπτοντας ότι αυτό το σπίτι θα μπορούσε να είναι γραφείο. Αυτή η παρατήρηση αποδεικνύει ότι χαρακτηριστικά των νοικοκυριών όπως π.χ. είναι ο τύπος του σπιτιού, ο αριθμός των ανθρώπων που κατοικούν μέσα σε αυτό καθώς και οι ηλικίες τους, μπορούν να προσδιοριστούν από την χρήση των συσκευών.

Ο Πίνακας 8 αντιπροσωπεύει ένα δείγμα που αφορά την οικία 2 σχετικά με τις τιμές υποστήριξης των οικιακών συσκευών σε σχέση με την ώρα και τις περιόδους χρήσης τους. (Osama et al., 2020).

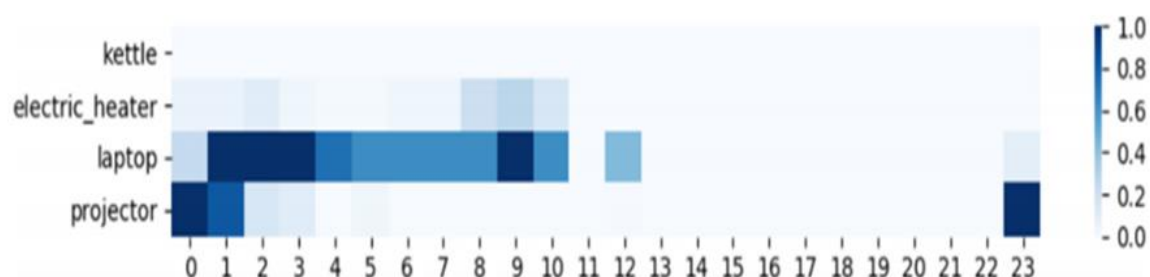
Πίνακας 8. Δείγμα συσχέτισης μεταξύ οικιακού εξοπλισμού (συσκευών) και ώρας για την οικία 2.

Appliance	FTU	Hour	From	To
laptop	0.56	22	17-2-2013	9-10-2013
laptop	0.60	23	17-2-2013	9-10-2013
monitor	0.51	22	17-2-2013	9-10-2013
monitor	0.55	23	17-2-2013	9-10-2013
speakers	0.97–1.00	0–23	17-2-2013	10-10-2013
server	0.97–1.00	0–23	17-2-2013	10-10-2013
router	0.97–1.00	0–23	18-2-2013	10-10-2013

Source: (Osama et al., 2020).

Βάσει του Πίνακα 8 σημειώνεται ότι ο φορητός υπολογιστής (laptop), καθώς και η οθόνη (monitor), χρησιμοποιούνται κυρίως κατά τις ώρες 22 και 23, ενώ αντίστοιχα τα ηχεία (speakers), ο διακομιστής (server) και ο δρομολογητής (router), χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια των 24 ωρών.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα που αφορούν την οικία 3 τα οποία και παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.4.



Σχήμα 7.4. Συσχέτιση μεταξύ συσκευών και ώρας για την οικία 3. Source: (Osama et al., 2020).

Από το Σχήμα 7.4, προκύπτουν τα εξής:

- Παρατηρείται ότι ο φορητός υπολογιστής (laptop), χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στις ώρες 1, 2 και 3.
- Η χρήση του βραστήρα (kettle), δεν συσχετίστηκε με μια συγκεκριμένη ώρα. Αν και ο βραστήρας καταγράφηκε ως ενεργός την ώρα 22 στην βάση δεδομένων, παρόλο αυτό δεν εξήχθη στον συσχετισμό καθώς η χρήση του δεν ήταν συχνή.

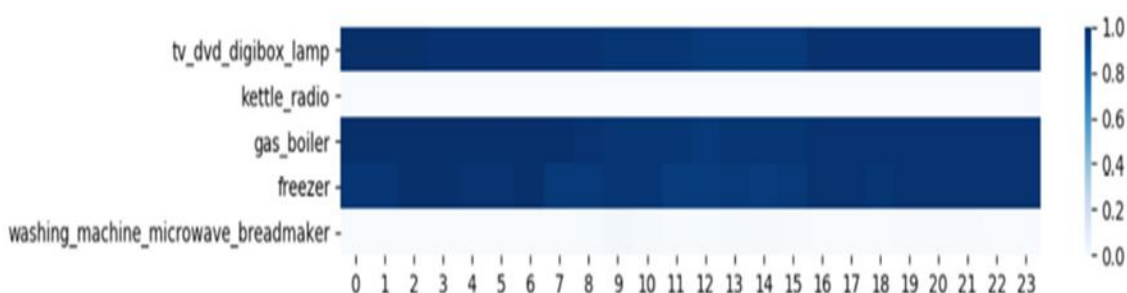
Ο Πίνακας 9 αντιπροσωπεύει ένα δείγμα που αφορά την οικία 3 σχετικά με τις τιμές υποστήριξης των οικιακών συσκευών σε σχέση με την ώρα και τις περιόδους χρήσης τους.

Πίνακας 9. Δείγμα συσχέτισης μεταξύ οικιακού εξοπλισμού (συσκευών) και ώρας για την οικία 3.

Appliance	FTU	Hour	From	To
laptop	1	1	12-3-2013	26-3-2013
laptop	1	2	12-3-2013	26-3-2013
laptop	1	3	12-3-2013	27-3-2013
laptop	0.75	4	12-3-2013	12-3-2013
laptop	0.64	5	12-3-2013	28-3-2013
laptop	0.64	6	12-3-2013	12-3-2013
laptop	0.64	7	12-3-2013	12-3-2013
laptop	0.64	8	12-3-2013	4-4-2013
laptop	1	9	12-3-2013	3-4-2013
laptop	0.64	10	12-3-2013	27-3-2013
projector	1	0	26-3-2013	2-4-2013
projector	0.84	1	13-3-2013	26-3-2013
projector	1	23	25-3-2013	3-4-2013

Source: (Osama et al., 2020).

Βάσει του Πίνακα 9 παρατηρείται ότι η χρήση του προτζέκτορα (projector), επηρεάστηκε από μια αλλαγή που σημειώθηκε στις προτιμήσεις των οικιακών καταναλωτών. Από 13-3-2013 έως 26-3-2013 προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί την 1 ώρα, ενώ στην συνέχεια ξεκινώντας από 26-3-2013 έως 2-4-2013, η χρήση του προβολέα προτιμήθηκε την ώρα 0. Αυτό το γεγονός αποδεικνύει την σημασία της εξαγωγής της συσχέτισης μεταξύ της περιόδου χρήσης και του χρόνου καθώς αλλάζει η προτίμηση χρήσης με τον καιρό. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα που αφορούν την οικία 4 τα οποία αποτυπώνονται στο Σχήμα 7.5.



Σχήμα 7.5. Συσχέτιση μεταξύ συσκευών και ώρας για την οικία 4. Source: (Osama et al., 2020).



Από το Σχήμα 7.5 προκύπτουν τα εξής:

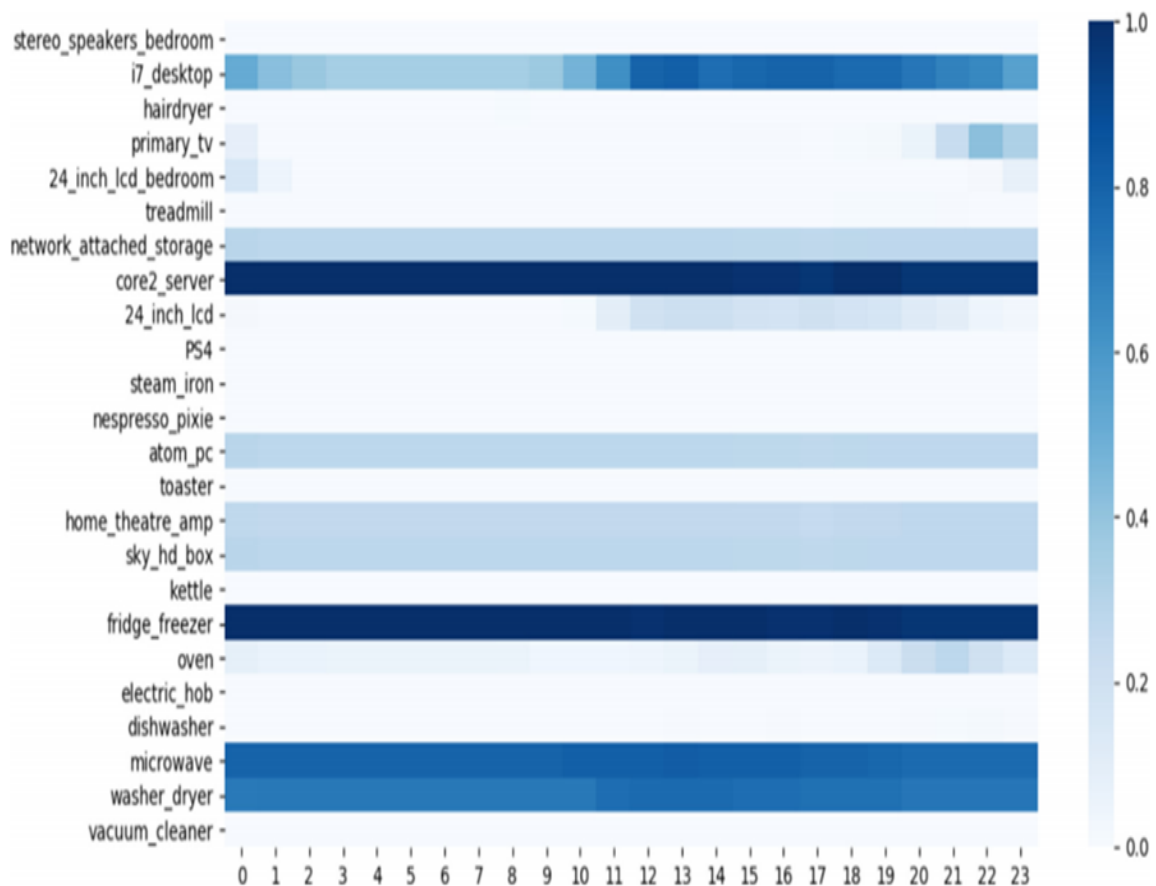
- Σημειώνεται ότι τόσο ο καταψύκτης (freezer), όσο και ο λέβητας αερίου (gas\_boiler), εμφανίζονται να είναι πάντα ενεργοί κατά την διάρκεια των 24 ωρών, αλλά με διαφορετικές τιμές υποστήριξης και αυτό είναι συνηθισμένο για τις συσκευές με θερμοστάτη, οι οποίες αλλάζουν την κατάσταση της δραστηριότητάς τους με βάση την ανίχνευση της κατάστασής τους. Ο Πίνακας 10 αντιπροσωπεύει ένα δείγμα που αφορά την οικία 4 σχετικά με τις τιμές υποστήριξης των οικιακών συσκευών σε σχέση με την ώρα και τις περιόδους χρήσης τους.

Πίνακας 10. Δείγμα συσχέτισης μεταξύ οικιακού εξοπλισμού (συσκευών) και ώρας για την οικία 4.

Appliance	FTU	Hour	From	To
tv_dvd_digibox_lamp	0.96–1.00	0–23	10-3-2013	1-10-2013
gas_boiler	0.96–1.00	0–23	10-3-2013	1-10-2013
freezer	0.96–1.00	0–23	10-3-2013	1-10-2013

Source: (Osama et al., 2020).

Βάσει του Πίνακα 10 παρατηρείται ότι οι τιμές στήριξης τόσο του καταψύκτη (freezer) όσο και του λέβητα αερίου (gas\_boiler), έχουν υψηλό εύρος, το οποίο μετρά την τιμή υποστήριξης του υποψηφίου συνόλου λαμβάνοντας υπόψη τον χρονικό παράγοντα ((Frequent Temporal Utility, (FTU)), όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι από 0,96 έως 1,00 κατά την διάρκεια των 24 ωρών. Επιπλέον στο Σχήμα 7.6 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την οικία 5.



Σχήμα 7.6. Συσχέτιση μεταξύ συσκευών και ώρας για την οικία 5. Source: (Osama et al., 2020).

Από το Σχήμα 7.6 προκύπτουν τα εξής:

- Παρατηρείται ότι οι συσκευές με θερμοστάτη όπως π.χ. είναι ο ψυγείοκαταψύκτης (fridge\_freezer), είναι ενεργές κατά την διάρκεια των 24 ωρών. Αυτό το σχόλιο αποτελεί την ίδια παρατήρηση που σημειώθηκε προηγουμένως για τον καταψύκτη (freezer) και τον λέβητα αερίου (gas\_boiler), στην οικία 4 και για το ψυγείο στην οικία 1.

Ο Πίνακας 11 αντιπροσωπεύει ένα δείγμα που αφορά την οικία 5, σχετικά με τις τιμές υποστήριξης των οικιακών συσκευών σε σχέση με την ώρα και τις περιόδους χρήσης τους (Osama et al., 2020).



Πίνακας 11. Δείγμα συσχέτισης μεταξύ οικιακού εξοπλισμού (συσκευών) και ώρας για την οικία 5.

Appliance	FTU	Hour	From	To
i7_desktop	0.80	12	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.81	13	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.76	14	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.79	15	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.80	16	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.80	17	30-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.77	18	29-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.78	19	29-6-2014	13-11-2014
i7_desktop	0.72	20	29-6-2014	12-11-2014
i7_desktop	0.69	21	29-6-2014	12-11-2014
i7_desktop	0.66	22	29-6-2014	12-11-2014
i7_desktop	0.56	23	29-6-2014	12-11-2014
core2_server	0.97–1.00	0–23	29-6-2014	13-11-2014
fridge_freezer	0.97–1.00	0–23	29-6-2014	13-11-2014
microwave	0.78–0.81	0–23	8-7-2014	12-11-2014
washer_dryer	0.72–0.76	0–23	30-6-2014	13-11-2014

Source: (Osama et al., 2020).

Βάσει του Πίνακα 11 παρατηρείται ότι το i7\_desktop προτιμάται να χρησιμοποιείται από τις 12:00 έως τις 23:00, με ώρες αιχμής από τις 12:00 έως τις 20:00. Το συγκεκριμένο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας κατάφερε να αναδείξει τα χρονικά μοτίβα που αντιστοιχούν σε κάθε οικιακή συσκευή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι η προτεραιότητα της χρήσης των συσκευών διαφέρει από ώρα σε ώρα. Επιπλέον, η συμπεριφορά των οικιακών καταναλωτών διαφοροποιείται με την πάροδο του χρόνου, επομένως ορισμένα ευρήματα ενδέχεται να εξαλειφθούν. Υπό αυτό το πλαίσιο, τα αποτελέσματα που θα προκύπτουν βάσει των συσχετίσεων θα πρέπει να έχουν μια περίοδο έκθεσης που να αποκαλύπτεται η εγκυρότητά τους. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν εξάγονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Οι συσκευές που διαθέτουν θερμοστάτη όπως π.χ. είναι το ψυγείο (fridge) και ο καταψύκτης (freezer), είναι πάντα ενεργές κατά την διάρκεια των 24 ωρών και δεν ελέγχονται από τους οικιακούς καταναλωτές.
- Οι συσκευές που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια θα είναι ενεργές κατά τις πρωινές ώρες.
- Οι συσκευές που έχουν παρόμοια μοτίβα χρήσης αποκαλύπτουν συσχετισμούς μεταξύ των συσκευών οι οποίοι δείχνουν την προτίμηση τους να χρησιμοποιούνται μαζί.
- Τα χαρακτηριστικά των νοικοκυριών μπορούν να ανακαλυφθούν σύμφωνα με την χρήση των συσκευών όπως συμβαίνει π.χ. στην περίπτωση της οικίας 2, όπου ο

διακομιστής (server), το μόντεμ (modem), ο δρομολογητής (router) και τα ηχεία (speakers), είναι πάντα ενεργά κατά την διάρκεια των 24 ωρών. Επιπλέον, ο φορητός υπολογιστής (laptop) αλλά και η οθόνη (monitor), εμφανίζονται ως ενεργά από τις 9 π.μ. έως και τα μεσάνυχτα. Αυτά τα πρότυπα κατανάλωσης μπορεί να αποκαλύψουν την ταυτότητα του σπιτιού, όπου βέβαια στην προκειμένη περίπτωση η οικία 2 πρέπει μάλλον να υπόκειται σε γραφείο.

- Η αλλαγή συμπεριφοράς των οικιακών καταναλωτών μπορεί να ανιχνευθεί εξετάζοντας τις περιόδους χρήσης των ανακαλυφθέντων συσχετισμών, όπως π.χ. παρατηρείται στην περίπτωση της οικίας 3 (Osama et al., 2020).

## 7.2 Αλγόριθμος διαχείρισης της ενέργειας (EMS) και εφαρμογή του στον έξυπνο μετρητή

Το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), βασίζεται στις αρχές της ασαφής λογικής και εφαρμόστηκε στον ενεργειακό μετρητή. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μια πρόσθετη διαίρεση σε διάφορες βάσεις δεδομένων κανόνων για το αίτημα του αποκλεισμού. Σύμφωνα με τα σήματα εισόδου, προσδιορίστηκαν οι βοηθητικές παράμετροι που υποστηρίζουν την λειτουργία του συστήματος. Αυτή η ενότητα του Κεφαλαίου 7.2 κάνει πρώτα αναφορά στην βασική θεωρία των αλγορίθμων διαχείρισης της ενέργειας, εν συνεχεία προχωράει στην περιγραφή της κατασκευής του αλγορίθμου και τέλος στην εφαρμογή του στον έξυπνο μετρητή και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων (Chojacki et al., 2020).

Η κύρια υπόθεση για τους αλγόριθμους που εφαρμόζονται στο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας. Το κόστος της ενέργειας, στην περίπτωση τιμολογίων πολλαπλών ζωνών, μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\min = \sum_{i=0}^n c_i e_i \quad (1)$$

Όπου το  $c_i$ , δηλώνει την τιμή της ενέργειας στο χρονικό διάστημα των ενεργειακών τιμολογίων, το  $e_i$  σημαίνει την κατανάλωση της ενέργειας στο χρονικό διάστημα των

ενεργειακών τιμολογίων. Δύο προτεινόμενες ζώνες τιμών ( $i = 0$  για off-peak,  $i = 1$  για on-peak) εξετάστηκαν στον προτεινόμενο αλγόριθμο. Η εξοικονόμηση προκύπτει από τη συνολική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και από το μεταβαλλόμενο μέρος της ενεργειακής ζήτησης από την περίοδο αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής.

Σε ένα ανεπτυγμένο σύστημα για παραδοχές που έχουν υιοθετηθεί προηγουμένως, η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την διάρκεια μιας ημέρας μπορεί να ληφθεί ως μια αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης, η οποία μπορεί να εκφραστεί με την συνάρτηση (2):

$$e_{24} = f \left( \sum_{j=0}^n p_j, \sum_{j=0}^n IRR_j, SoC_{d-1} \right) \quad (2)$$

Όπου  $p_j$ , αναφέρεται στην μέση ενεργή ισχύ για το χρονικό διάστημα  $j$ th. Το  $IRR_j$ , υποδηλώνει την μέση ηλιακή ακτινοβολία για το χρονικό διάστημα  $j$ th και το  $SoC_{d-1}$  αναφέρεται σε μια κατάσταση αποθήκευσης μπαταρίας στην αρχή μιας ημέρας.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δέχεται δύο διανύσματα ως είσοδο:  $p$  και  $q$ . Ο φορέας εξόδου υπολογίζεται έπειτα με βάση τα  $p$  και  $q$ . Το διάνυσμα εισόδου  $p$  για  $k$ th βήμα του υπολογισμού δίνεται ως:

$$\hat{p}^{(k)} = \left[ p^{(k)}, i_{pv}^{(k)}, u_{bat}^{(k)} \right] \quad (3)$$

Απαρτίζονται από τρία συστατικά: το  $p^{(k)}$  αναφέρεται στην μέση ενεργή ισχύς, το  $i_{pv}^{(k)}$  είναι το ρεύμα  $p_n$  και το  $u_{bat}^{(k)}$  είναι η τάση των μπαταριών. Τα στοιχεία αυτού του διανύσματος είναι μετρημένα σήματα που σχετίζονται με την εγκατάσταση που αντιστοιχούν άμεσα στις μεταβλητές στον προηγουμένως δοθέντα τύπο (2). Διάνυσμα  $q$  για βήμα χρόνου  $k$ th:

$$\hat{q}^{(k)} = \left[ VoG^{(k)}, CoS^{(k)}, ToLC^{(k)}, ToLC_{bat}^{(k)}, energy\_price^{(k)} \right] \quad (4)$$

περιέχει βοηθητικές μεταβλητές οι οποίες περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω στο κομμάτι των αποτελεσμάτων όπου καθορίζονται με βάση το διάνυσμα  $p^k$  και την τρέχουσα ώρα. Το διάνυσμα  $s^k$

$$\hat{s}^{(k)} = [a^{(k)}, b^{(k)}], \quad a, b \in \{0, 1\} \quad (5)$$

αποτελεί έναν δισδιάστατο φορέα του οποίου τα συστατικά  $a, b$  μπορούν να πάρουν δύο τιμές (0 ή 1) και αντιστοιχούν στις καταστάσεις των εξόδων έξυπνου μετρητή.

Για τα  $p^k, q^k$  και  $s^k$  η ζητούμενη λύση είναι  $s^{k+1}$ . Οι απαιτούμενες λειτουργίες περιορισμού είναι υπεύθυνες για την εξάλειψη του υπερβολικού αριθμού εναλλαγής μεταξύ λειτουργιών on-grid και off-grid καθώς και της βαθιάς εκφόρτισης του χώρου αποθήκευσης. Με την βοήθεια της ασαφούς λογικής, μπορεί να παραλειφθεί το κομμάτι που αναφέρεται στην επίσημη μαθηματική παραγωγή των περιορισμών με αποτέλεσμα να και να βασιζόμαστε έτσι στην προφορική περιγραφή.

Βάσει μελέτης που πραγματοποιήθηκε μέσω της διαδικασίας της προσομοίωσης αλλά και της εργαστηριακής δοκιμής η οποία αφορούσε το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), αναφέρει ότι κατά το στάδιο του σχεδιασμού έγινε προσομοίωση χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα και εν συνεχεία δοκιμάστηκε με τον έξυπνο μετρητή.

Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και των δοκιμών, ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα που γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Java, με χρήση της βιβλιοθήκης jFuzzyLogic, όπου το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε ως περιβάλλον δοκιμής. Τα δεδομένα εισόδου έγιναν βάσει:

- Του καθημερινού προφίλ του φορτίου.
- Του ρεύματος που παράγεται από την χρήση Φ/Β ((Photovoltaic, (PV)) στοιχείου.
- Της αρχικής κατάστασης της αποθήκευσης της ενέργειας (SoC).

Παρασκευάστηκε ένα σύνολο δεδομένων δοκιμής όπου περιείχαν 50 προφίλ ημερήσιου φορτίου καθώς και την ισχύ που παρήχθη από ένα σύνολο φωτοβολταϊκών πάνελ. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης η ένταση της ακτινοβολίας μετατράπηκε στο ρεύμα που δημιουργήθηκε από τα κελιά χρησιμοποιώντας τον απλό τύπο:

$$i_{PV}^{(k)} = \frac{\eta S}{V} \cdot IRR^{(k)} \quad (6)$$

Μετά την υλοποίηση, το σύνολο των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστωθεί εάν η λειτουργία εκτελέστηκε σωστά καθώς και για την βελτίωση των παραμέτρων του αλγορίθμου ελέγχου. Η αρχική κατάσταση φόρτισης της αποθήκευσης της ενέργειας καθορίστηκε χειροκίνητα με τιμές (20%, 40%, 60%, 80%), προκειμένου να δοκιμαστεί ένας αριθμός πιθανών παραλλαγών της συμπεριφοράς του συστήματος. Το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου ήταν μια επιλογή αρχών στη γλώσσα ((Fuzzy Control Language, (FCL)) του Πίνακα 12 και της δομής του ελεγκτή όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.2.1. (Chojecki et al., 2020).

Πίνακας 12. Παραδείγματα κανόνων.

Rule base 1															
IF	energy_consumption	IS	high	AND	state_of_charge	IS	high	AND	local_energy_production	IS	high	THEN	next_state_1	IS	off_grid
IF	energy_consumption	IS	very_low	AND	state_of_charge	IS	medium	AND	local_energy_production	IS	medium	THEN	next_state_1	IS	off_grid
IF	energy_consumption	IS	medium	AND	state_of_charge	IS	low	AND	local_energy_production	IS	low	THEN	next_state_1	IS	on_grid

Rule base 2															
IF	VoG	IS	normal	AND	CoS	IS	normal	AND	energy_price	IS	expensive	THEN	next_state_2	IS	off_grid
IF	VoG	IS	high	AND	CoS	IS	normal	AND	energy_price	IS	expensive	THEN	next_state_2	IS	off_grid
IF	VoG	IS	low	AND	CoS	IS	high	AND	energy_price	IS	expensive	THEN	next_state_2	IS	on_grid

Rule base 3															
IF	actual_state	IS	off_grid	AND	next_state_1	IS	on_grid	AND	next_state_2	IS	on_grid	THEN	actual_state	IS	on_grid
IF	actual_state	IS	off_grid	AND	next_state_1	IS	off_grid	AND	next_state_2	IS	on_grid	THEN	actual_state	IS	off_grid
IF	actual_state	IS	on_grid	AND	next_state_1	IS	on_grid	AND	next_state_2	IS	off_grid	THEN	actual_state	IS	on_grid

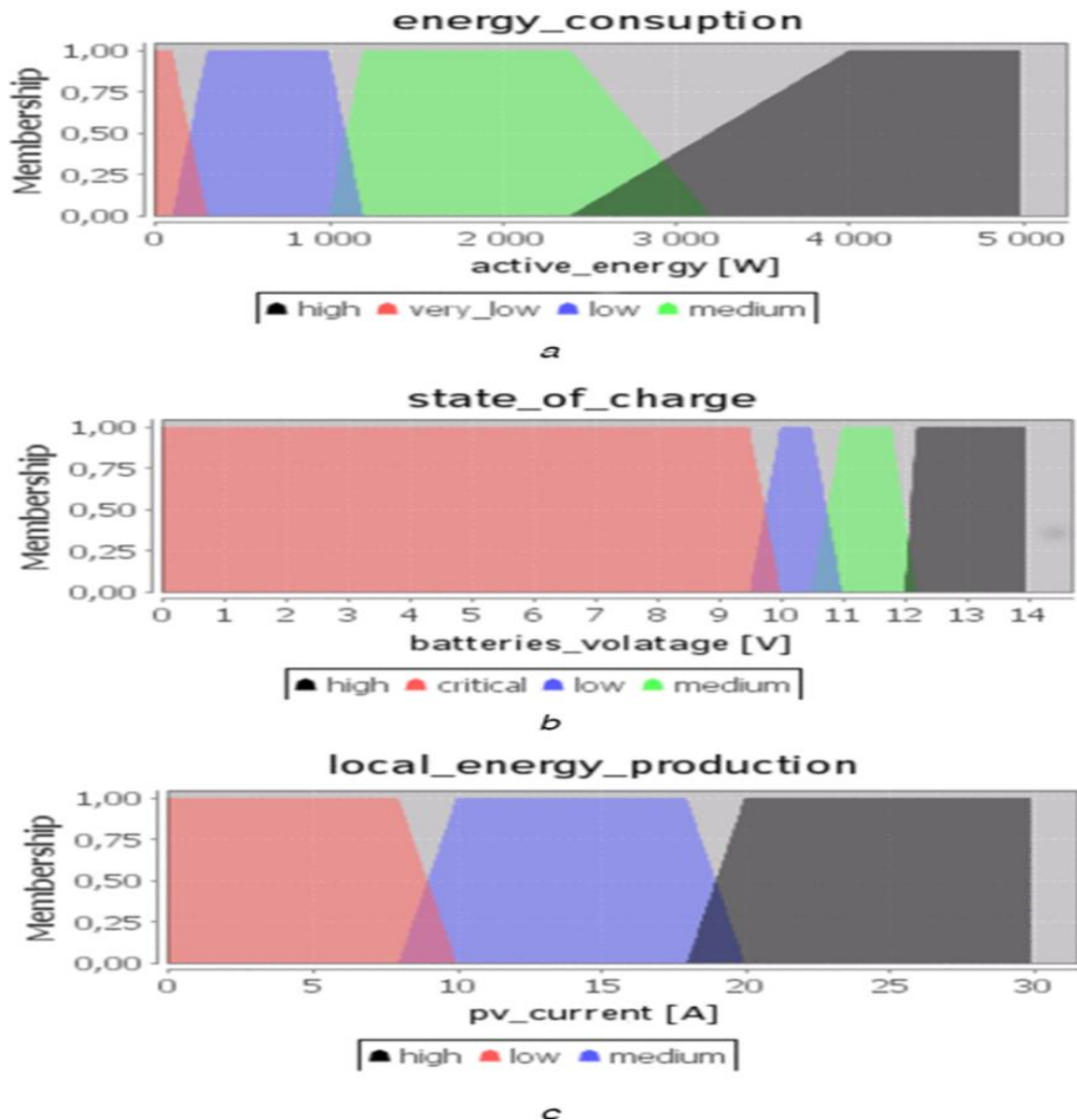
Rule base 4															
IF	state_of_charge	IS	critical	AND	energy_price	IS	cheap	AND	ToLC_bat	IS	normal	THEN	batt	IS	charge_from_grid
IF	state_of_charge	IS	critical	AND	energy_price	IS	normal	AND	ToLC_bat	IS	normal	THEN	batt	IS	charge_from_grid
IF	state_of_charge	IS	medium	AND	energy_price	IS	expensive	AND	ToLC_bat	IS	normal	THEN	batt	IS	charge_from_RES

Source: (Chojecki et al., 2020).

Βάσει του Πίνακα 12, η πρώτη βάση κανόνων (1) είναι υπεύθυνη για την ανάλυση των παραμέτρων που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, την τοπική παραγωγή ενέργειας αλλά και την κατάσταση φόρτισης της αποθήκευσης της ενέργειας. Το δεύτερο μπλοκ κανόνων (2) είναι υπεύθυνο για την μείωση του αριθμού λειτουργίας των διακοπών. Επιπλέον, λαμβάνονται βοηθητικές μεταβλητές οι οποίες αντιστοιχούν στα







Σχήμα 7.2.2 Λειτουργικά σχήματα και ασαφή σύνολα του fuzzification μπλοκ: (α) Fuzzy set που αντιπροσωπεύουν επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας, (β) Fuzzy set που αντιπροσωπεύουν κατάσταση φόρτισης, (γ) Fuzzy set που αντιπροσωπεύουν τοπική παραγωγή ενέργειας από χρήση ΑΠΕ. Source: (Chojecki et al., 2020).

Μετά την fuzzification, τα ασαφή σήματα όπως είναι: η energy\_consumption, το state\_of\_charge, η local\_energy\_production μεταφέρθηκαν στο πρώτο μπλοκ των βασικών κανόνων. Αρχικά, επιχειρήθηκε η χρήση μίας μόνο βάσης δεδομένων κανόνων. Ωστόσο, οι τροποποιήσεις αλλά και η εφαρμογή ήταν επίπονες. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και προκειμένου να διευκολυνθεί η κατασκευή της βάσης κανόνων, η μείωση του αριθμού των κανόνων αλλά και η πιθανή μελλοντική τροποποίηση του συστήματος,

εισήχθη μια διαίρεση της βάσης δεδομένων των κανόνων σε διάφορα τμήματα. Αυτά τα σήματα μαζί με μια περιγραφή του υπολογισμού τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13 Βοηθητικά σήματα.

Signal name	Formula
CoS	$\text{CoS} = \begin{cases} \text{normal;} & \text{SoC} > 20\% \\ \text{high;} & \text{SoC} \leq 20\% \end{cases}$
VoG	$\text{VoG} = \begin{cases} \text{low,} & V < 20\% \\ \text{normal,} & 20\% \leq V < 50\% \\ \text{high,} & V \geq 50\% \end{cases}$
	$V = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{(1/15) \sum_{k-15}^k \sqrt{i_{pv}^{(k)} - i_{pv}^{(\text{avg } 15 \text{ min})}}}{(1/15) \sum_{k-15}^k i_{pv}^{(k)}} \cdot 100$
ToLC	$\text{ToLC} = \begin{cases} \text{normal,} & \_tolc > 10 \text{ min} \\ \text{short,} & \_tolc \leq 10 \text{ min} \end{cases}$
	$\_tolc - \text{time in minutes from last state change of output B}$
ToLC_batt	$\text{ToLC\_batt} = \begin{cases} \text{normal,} & \_tolc\_batt > 10 \text{ min} \\ \text{short,} & \_tolc\_batt \leq 10 \text{ min} \end{cases}$
	$\_tolc\_batt - \text{time in minutes from last state change of output A}$

Source: (Chojeci et al., 2020).

Η μεταβλητή (Variable VoG), ενημερώνει το σύστημα για την αστάθεια της τοπικής παραγωγής ενέργειας, όπως για παράδειγμα λόγω πιθανών αλλαγών στις καιρικές συνθήκες. Είναι ο συντελεστής διακύμανσης που υπολογίζεται ως το πηλίκο της τυπικής απόκλισης και ο μέσος όρος. Η (Variable VoG), υπολογίζεται για διαστήματα 15 λεπτών. Η οριακή τιμή για την VoG ορίστηκε στο 50%. Τα σήματα CoS και ToLC προσδιορίζονται απευθείας από τις μετρούμενες τιμές από τις δηλώσεις υπό όρους If - Else. Το σήμα CoS, επιτρέπει την συμπερίληψη της βαθιάς εκφόρτισης της αποθήκευσης της μπαταρίας στον αλγόριθμο ελέγχου, ο οποίος είναι μειονεκτικός για την διάρκεια ζωής του. Η μειωμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας αυξάνει το κόστος της αποθηκευμένης ενέργειας (Chojeci et al., 2020).

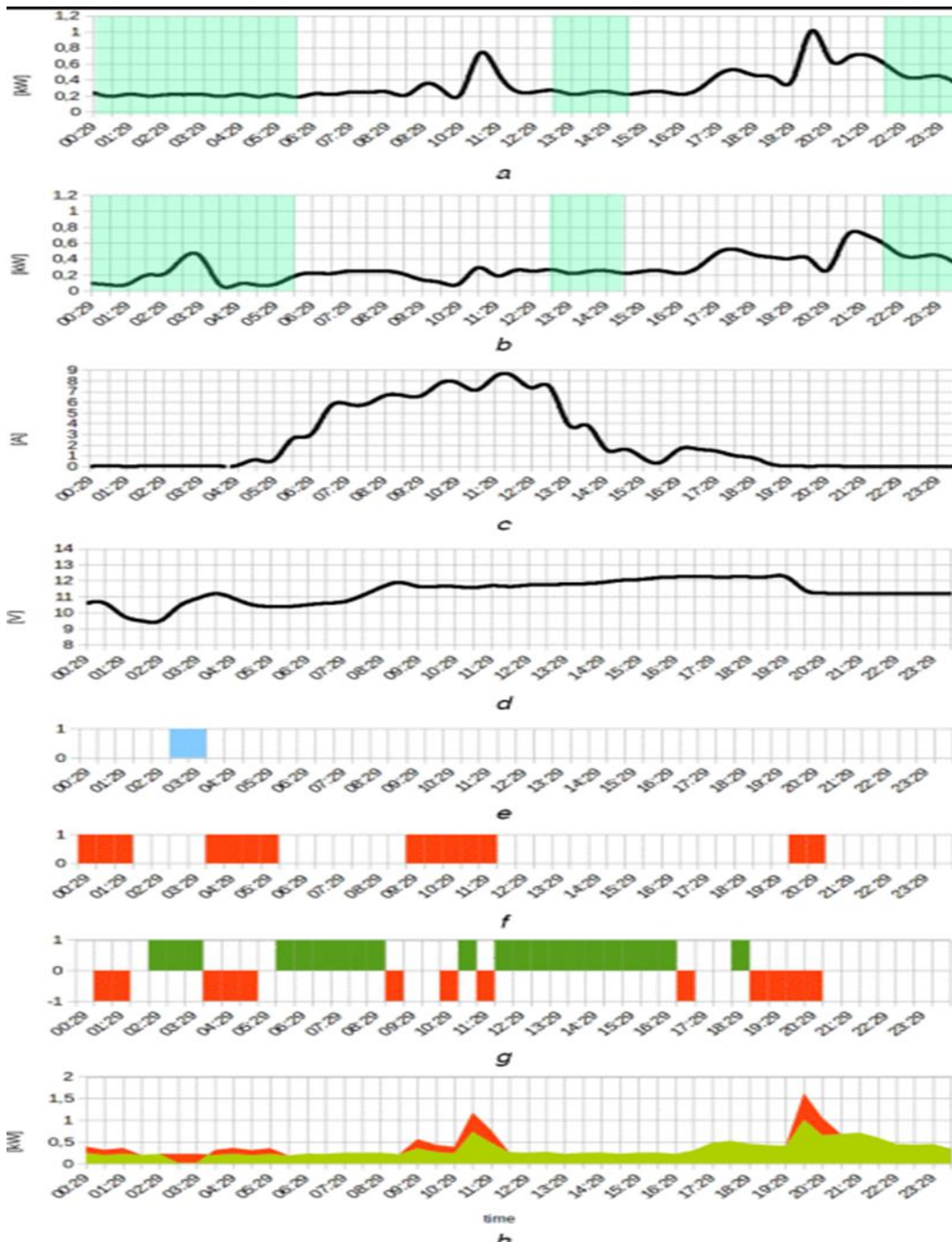
Το βοηθητικό σήμα ToLC, που χρησιμοποιείται επίσης στην τρίτη βάση κανόνων (3), αποτρέπει υπερβολικά συχνές αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας. Η μεταβλητή ToLC, θυμάται την ώρα της τελευταίας αλλαγής της κατάστασης εξόδου. Θεωρήθηκε ότι οι λειτουργίες διακοπής δεν πρέπει να συμβαίνουν συχνότερα από κάθε 10 λεπτά. Το μπλοκ Energy\_price καθορίζει την τρέχουσα τιμή της ενέργειας βάσει του τιμολογίου ToU που αφορά τον χρόνο χρήσης της ενέργειας, το οποίο έχει δύο ζώνες τιμών όπως



εμφανίζεται στο Σχήμα 7.2.1. Το μπλοκ Energy\_price και το ToLC απαιτούν πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα ώρα που παρέχεται από το ρολόι σε πραγματικό χρόνο του μικροελεγκτή.

Οι έξοδοι που αναφέρονται στο πρώτο αλλά και στο δεύτερο μπλοκ βάσης κανόνων είναι οι μεταβλητές next\_state\_1 και next\_state\_2. Αυτές οι μεταβλητές μπορούν να έχουν δύο τιμές: on\_grid και off\_grid. Αυτά τα δύο σήματα καθώς και η πραγματική κατάσταση συγκρίνονται στην τρίτη βάση κανόνων (3). Η αλλαγή στην έξοδο συμβαίνει εάν η πραγματική\_κατάσταση είναι διαφορετική από εκείνη που υποδεικνύεται ταυτόχρονα με την επόμενη\_κατάσταση\_1 και την επόμενη\_2. Το σήμα εξόδου από την τρίτη βάση κανόνων είναι ένα δυαδικό σήμα που ελέγχει την επαφή (output B). Το πρώτο μπλοκ defuzzification είναι υπεύθυνο για τα παραπάνω, το οποίο βασίζεται σε εργασίες σύγκρισης, επίσης αποτελεί πλεονέκτημα για τον υπολογισμό του χρόνου. Τις περισσότερες φορές, η διαδικασία του Defuzzification η οποία αναφέρεται στον ακριβές προσδιορισμό τις ευκρινείς των τιμών του σήματος ελέγχου της εξόδου, απαιτεί τον περισσότερο χρόνο και υπολογιστική ισχύ. Η τέταρτη βάση κανόνων (4) είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της διαδικασίας φόρτισης της αποθήκευσης ενέργειας από το δίκτυο. Οι είσοδοι για αυτό το μπλοκ είναι: ToLC\_bat, energy\_price και state\_of\_charge. Η μεταβλητή ToLC\_bat καθορίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως το ToLC και αποθηκεύει τον χρόνο από την τελευταία αλλαγή της κατάστασης της εξόδου A. Το δεύτερο μπλοκ defuzzification είναι ανάλογο με το πρώτο.

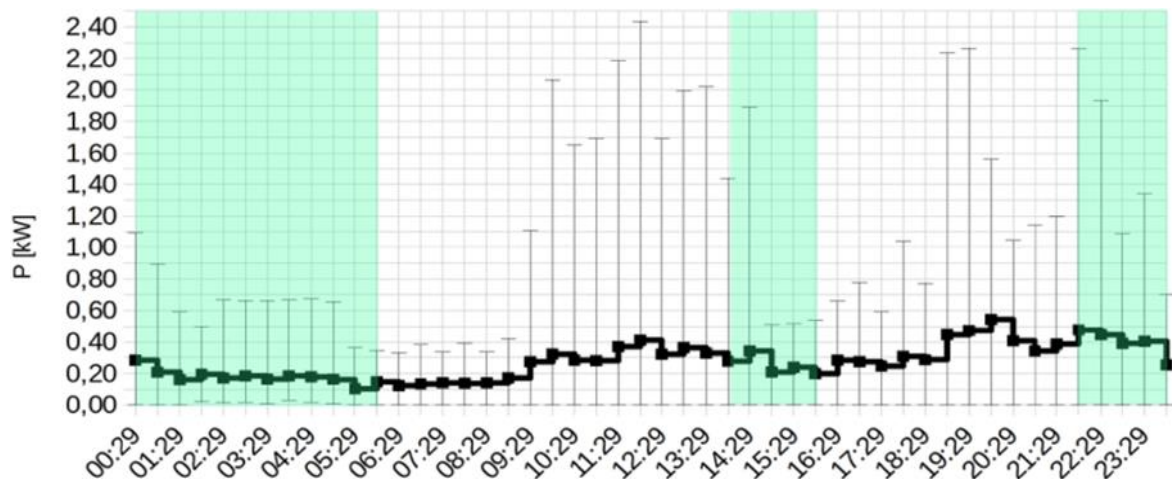
Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν για εγκαταστάσεις με και χωρίς σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)). Συγκεκριμένα για καθένα από τα δοκιμασμένα σύνολα περιγράφηκαν οι διαδρομές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2.3. Η πρώτη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.2.3α παρουσιάζει ένα καθημερινό προφίλ φορτίου. Οι περίοδοι κατά τις οποίες η τιμολόγηση της ενέργειας είναι φθηνότερη, επισημαίνονται με πράσινο χρώμα. Όπως φαίνεται να υπάρχουν δύο βασικές κορυφές (Chojecki et al., 2020).



Σχήμα 7.2.3 Συλλογή γραφημάτων που δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών: (a) Energy\_consumption, (b) energy\_consumption (with EMS), (c) pv\_current, (d) batt\_voltage, (e) Έξοδοι (μπαταρίες cont\_A-load από δίκτυο), (f) Outputs (cont\_B-partB work off-grid), (g) batt\_energy\_flow, (h) enery\_consumption (with/without EMS – comparsion). Source: (Chojecki et al., 2020).

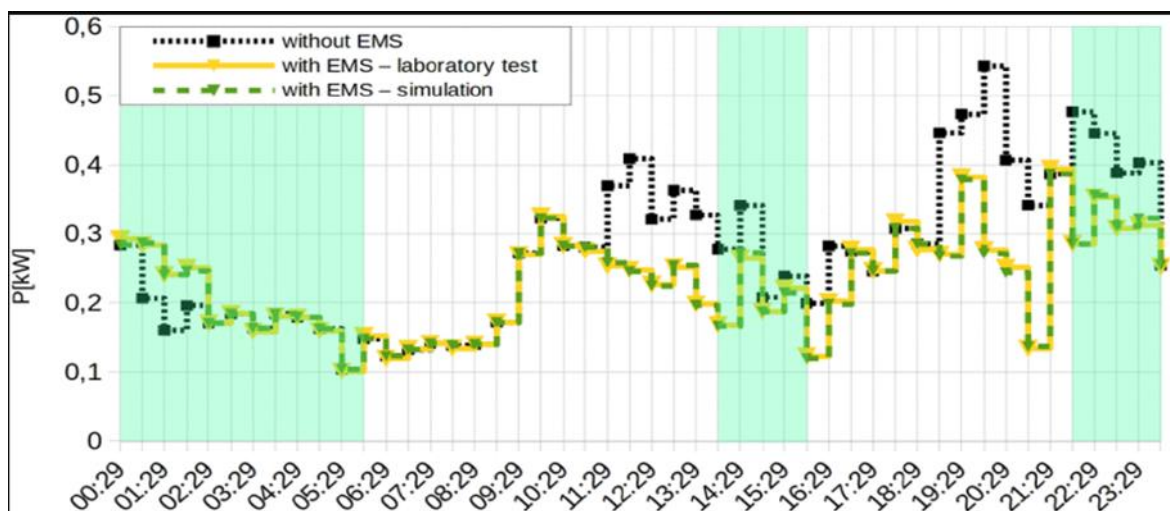
Βάσει του Σχήματος 7.2.3 αποδεικνύεται ότι τόσο η απογευματινή ώρα αιχμής όσο και η πρωινή αναφέρονται στην περίοδο όπου η ενέργεια είναι πιο ακριβή. Το ημερήσιο προφίλ φορτίου για εγκαταστάσεις με το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), αναδεικνύεται στο Σχήμα 7.2.3b και όπως φαίνεται και οι δύο κορυφές μειώθηκαν. Επίσης οι επόμενες δύο γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 7.2.3 δείχνουν: Η μεν γραφική παράσταση περίπτωση c, αναδεικνύει το ρεύμα από την χρήση των Φ/Β στοιχείων και η δε γραφική παράσταση περίπτωση d, αναδεικνύει την τάση αποθήκευσης της μπαταρίας. Επίσης οι γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 7.2.3 περίπτωση e και περίπτωση f, απεικονίζουν την κατάσταση των εξόδων αναμετάδοσης. Η φόρτιση της αποθήκευσης της ενέργειας από το δίκτυο πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας μέσω του μηχανισμού μετατόπισης της αιχμής της ζήτησης. Ενώ η έξοδος Β του Σχήματος 7.2.3 περίπτωση f είναι ενεργή, οι συσκευές της ομάδας Β τροφοδοτούνται από τοπική ενέργεια η οποία παράγεται εκτός δικτύου. Οι περίοδοι κατά τις οποίες η αποθήκευση της ενέργειας φτάνει στο κόκκινο, δηλαδή (εκφορτίζει) αλλά αντίστοιχα και στο πράσινο δηλαδή (φορτίζει), αναδεικνύονται στο Σχήμα 7.2.3 περίπτωση g. Κατά τις απογευματινές ώρες, παρά την εργασία η οποία γίνεται χωρίς την χρήση του δικτύου, η αποθήκευση της ενέργειας δεν αποφορτίζεται. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τους παραλήπτες προέρχεται από την χρήση Φ/Β στοιχείων και η αποθήκευση της ενέργειας παραμένει φορτισμένη.

Το αποτέλεσμα της εργασίας του αλγορίθμου μπορεί να απεικονιστεί καλύτερα αντιπαραθέτοντας και τις δύο πρώτες γραφικές παραστάσεις, οι οποίες εμφανίζονται στο Σχήμα 7.2.3 περίπτωση h. Οι περιοχές όπου μειώθηκε το προφίλ του φορτίου, “μηχανισμός μείωσης της κορυφής της αιχμής”, σημειώνονται με κόκκινο χρώμα. Επίσης το Σχήμα 7.2.4 παρουσιάζει έναν μέσο όρο του προφίλ φορτίου για τις 10 περιπτώσεις δοκιμών, με επισημασμένες τόσο στις μέγιστες όσο και στις ελάχιστες τιμές για κάθε ώρα (Chojecki et al., 2020).



Σχήμα 7.2.4 Μέσο ημερήσιο προφίλ φορτίου για σύνολο δεδομένων δοκιμής. Source: (Chojacki et al., 2020).

Επίσης το Σχήμα 7.2.5 συνοψίζει την σύγκριση της εργασίας του αλγορίθμου για τα μέσα προφίλ του φορτίου.



Σχήμα 7.2.5 Σύγκριση μέσου ημερήσιου φορτίου με και χωρίς σύστημα διαχείρισης της ενέργειας Energy Management System (EMS). Source: (Chojacki et al., 2020).

Το μέσο προφίλ βάσης χωρίς την λειτουργία του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) αλλά και δύο προφίλ που επιτεύχθηκαν σε μια εγκατάσταση με την λειτουργία του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), εμφανίστηκαν φυσικά στον μετρητή και κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ένα από αυτά δημιουργήθηκε με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών, ενώ το δεύτερο δημιουργήθηκε στο περιβάλλον προσομοίωσης. Ελαφρές διαφορές μεταξύ των

αποτελεσμάτων προσομοίωσης και των εργαστηριακών αποτελεσμάτων επιβεβαιώνουν την σωστή εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) στον μετρητή. Τυχόν διαφορές μπορεί να είναι συνέπεια σφαλμάτων μέτρησης στη βάση δοκιμής. Για καθεμία από τις δοκιμές, προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις: μέση ημερήσια ισχύς (P24h) και μέση ισχύ 15 min (P15m). Λόγος κορυφής αιχμής προς μέσο όρο Peak-to-average ratio (PAR).

$$PAR = \max \left( \frac{P_{15m}^{(j)}}{P_{24h}} \right); \quad j = 1, 2 \dots 96 \quad (7)$$

Όπου μέσω αυτής της σχέσης προσδιορίστηκε η ποσοστιαία μεταβολή χωρίς και μετά τη χρήση του ανεπτυγμένου συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)). Ο δείκτης ((Peak-to-average ratio, (PAR)), δηλαδή ο λόγος κορυφής της αιχμής προς τον μέσο όρο της ζήτησης, υιοθετήθηκε ως ο πρωταρχικός δείκτης της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου. Πρόσθετα κριτήρια αξιολόγησης περιλάμβαναν: Την μεταβλητή ΔE,η οποία αναφέρεται στην ημερήσια μείωση της καταναλώμενης ενέργειας και την μεταβλητή ΔE<sub>p</sub>, η οποία αναφέρεται στην μείωση της καταναλώμενης ενέργειας κατά την περίοδο αιχμής. Ο Πίνακας 14 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα.

Πίνακας 14 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

No.	Without EMS			With EMS			ΔPAR, %	ΔE, %	ΔE <sub>p</sub> , %
	PAR	P <sub>15m</sub>	P <sub>24h</sub>	PAR	P <sub>15m</sub>	P <sub>24h</sub>			
1	3.09	1.05	0.34	2.45	0.71	0.29	21	15	32
2	0.33	0.30	0.90	0.18	0.16	0.88	45	2	44
3	0.84	0.46	0.55	0.60	0.30	0.50	28	9	31
4	1.67	0.50	0.30	1.15	0.30	0.26	31	13	40
5	3.26	1.01	0.31	2.28	0.66	0.29	30	6	34
6	9.73	3.60	0.37	8.20	2.87	0.35	16	5	27
7	3.64	0.80	0.22	2.81	0.59	0.21	23	5	23
8	1.71	4.02	2.35	1.45	3.40	2.34	15	0	14
9	1.20	0.12	0.10	0.56	0.05	0.09	54	10	58
10	5.17	2.17	0.42	3.00	1.20	0.40	42	5	38
average	3.06	1.40	0.59	2.27	1.02	0.56	30	7	34

Source: (Chojceki et al., 2020).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 14 μπορούν να ειπωθούν τα εξής: Παρουσιάζεται βελτίωση του ημερήσιου προφίλ του φορτίου σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί. Ο δείκτης ((Peak-to-average ratio, (PAR)), δηλαδή ο λόγος κορυφής της αιχμής της ζήτησης προς τον μέσο όρο της ζήτησης, επιλέχθηκε ως δείκτης αξιολόγησης της απόδοσης. Αυτή η μείωση του δείκτη ((Peak-to-average ratio, (PAR)) ποικίλλει ανάλογα με το προφίλ φορτίου και κυμαίνεται μεταξύ του 15% και του 54%.

Η μέση τιμή ΔPAR% ανέρχεται στο 30%. Η χρήση του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), δεν επηρεάζει σημαντικά την συνολική αλλαγή στην κατανάλωση της ενέργειας. Στις περισσότερες από τις ευνοϊκές περιπτώσεις, το σύστημα εξοικονομεί ΔΕ%, δηλαδή ημερήσια μείωση κατανάλωσης της ενέργειας κυμαίνεται από 0% έως και 15% της ενέργειας.

Η μέση τιμή για 10 περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν σε σχέση με την ΔΕ%, δηλαδή την ημερήσια μείωση κατανάλωσης της ενέργειας ήταν 7%. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε στο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), απέφερε σημαντική μείωση στην κατανάλωση της ενέργειας κατά τις περιόδους της μέγιστης ζήτησης για ενέργεια (ΔΕρ), εφαρμόζοντας έτσι την λειτουργία μείωσης της κορυφής της αιχμής.

Σε περιόδους χαμηλότερης κατανάλωσης της ενέργειας, δηλαδή (εκτός αιχμής), όταν παρατηρείται πρόβλημα με την πλεονάζουσα παραγωγική δυνατότητα του συστήματος ισχύος, είναι δυνατή η αύξηση της ζήτησης της ενέργειας μέσω του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας, οδηγώντας σε μια (μετατόπιση της αιχμής).

Οι διεξαγόμενες μελέτες ανέδειξαν μια επιτυχή μείωση του δείκτη ((Peak-to-average ratio, (PAR)), δηλ του λόγου κορυφής αιχμής προς μέσο όρο της ζήτησης κατά περίπου 30%, με μια μέση μείωση κατανάλωσης της ενέργειας κατά την περίοδο αιχμής ΔΕρ% που αγγίζει το 34%. Η συνολική κατανάλωση της ενέργειας ΔΕ% μειώθηκε κατά 7%.

Χάρη στη γενίκευση της παρούσας έρευνας, η ασαφής λογική επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή του συστήματος στην συγκεκριμένη εγκατάσταση. Σε ότι αφορά το συγκεκριμένο σύστημα, δύναται η δυνατότητα προσαρμογής χρήσης διαφορετικής ποσότητας ισχύς μέσω της ύπαρξης και χρήσης του Φ/Β στοιχείου, διαφορετική επίσης μπορεί να είναι τόσο η ποσότητα αποθήκευσης της ενέργειας όσο ακόμα και η ποσότητα της ζητούμενης ισχύος.

Τα οικονομικά πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή ενέργειας προκύπτουν από την μετατόπιση του φορτίου αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής χρησιμοποιώντας τοπικές μονάδες ΑΠΕ. Επίσης αυτό το γεγονός είναι ευεργετικό για ολόκληρο το σύστημα ισχύος καθώς η μείωση της αιχμής της ζήτησης προσφέρει καλύτερη ισορροπία στο σύστημα ισχύος. Επιπλέον η μείωση των μέγιστων τιμών της ισχύος σημαίνει παράλληλα και ελαχιστοποίηση των απωλειών σε επίπεδο μετάδοσης καθώς και περιορισμό της υπερφόρτωσης του συστήματος υποδομής τόσο κατά το στάδιο μεταφοράς όσο και το στάδιο της διανομής.

Τέλος σημαντικός παράγοντας επίσης αφορά τον καθορισμό της απόδοσης του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) και συγκεκριμένα την πιθανή κατάσταση για την χρήση των Φ/Β στοιχείων. Ο αλγόριθμος παρέχει επίσης ανάλογη λειτουργία σε περιόδους όπου η τοπική πηγή ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη. Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, υπάρχει μια ανισότητα στην αποτελεσματικότητα του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)). Έτσι ο δείκτης ((Peak-to-average ratio, (PAR)), ο οποίος υιοθετήθηκε ως ο πρωταρχικός δείκτης της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου αξιολογείται σε εύρος μεταξύ του 15-54%, ενώ αντίστοιχα στην περίπτωση της αξιολόγησης όπου υπάρχει μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας στο εύρος κυμαίνεται από 0 έως 15% (Chojecki et al., 2020).

### **7.3 Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας για έξυπνα σπίτια**

Η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα προηγμένα συστήματα τιμολόγησης για τα οποία έγινε εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6, αποτελούν μερικούς από τους σημαντικότερους παράγοντες σε ότι έχει να κάνει με τα προγράμματα που αναφέρονται στο σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), τα οποία στοχεύουν σε διάφορες πτυχές όπως π.χ. είναι: Η ελαχιστοποίηση της αιχμής κατανάλωσης της ενέργειας, η μείωση του λογαριασμού της ηλεκτρικής ενέργειας, η γενικότερη μείωση της κατανάλωσης κ.α. Σύμφωνα με τα διάφορα κίνητρα για τα οποία έγινε εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6, οι καταναλωτές χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούν να γίνονται όλο και πιο δραστήριοι, θέτοντας ως στόχο την αλλαγή της συμπεριφοράς τους σε σχέση με την



κατανάλωση της ενέργειας τους μέσα από την τεράστια πρόοδο που σημειώνεται στον τομέα της πληροφορικής και της επικοινωνίας μέσω αισθητήρων.

Σε αυτό το σημείο της διπλωματικής εργασίας προτείνονται τέσσερις νέοι αλγόριθμοι οι οποίοι είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσουν την κορυφή κατανάλωσης της ενέργειας για έντεκα σύνθετα έξυπνα σπίτια με πάνω από τριακόσιες συσκευές και οκτώ συστήματα Φ/Β ((Photovoltaic, (PV)) στοιχείων οροφής, τα οποία είναι συνδεδεμένα τόσο με το διαδίκτυο (Internet), όσο και με τους έξυπνους μετρητές οι οποίοι επιτρέπουν διαφορετικές αναλύσεις μέσω της συλλογής δεδομένων που σχετίζονται με την κατανάλωση της ενέργειας. Οι τέσσερις αυτοί αλγόριθμοι εκτελούνται παράλληλα και η καλύτερη επιλογή αποτελεί την βέλτιστη περίπτωση κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων διαμοιράζεται στο πλαίσιο της κοινότητας, προσθέτοντας έτσι με αυτόν τον τρόπο μια περαιτέρω βελτίωση στα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω των αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Επιπλέον, εφαρμόζονται διάφορα τιμολόγια ((Time-of-Use, (ToU)), για τα οποία έγινε εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6, τα οποία σχετίζονται με την αξιολόγηση της πληρωμής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αλλά και για την επαλήθευση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων αλγορίθμων (Orrea et al., 2019).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το κομμάτι που αφορά την οικιακή κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ του 20% έως και 35% της συνολικής κατανάλωσης, πράγμα που σημαίνει ότι είναι αρκετά ευέλικτο έτσι ώστε να επιτρέπει την τροποποίηση του τρόπου χρήσης κατανάλωσης της ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειώνει την μέγιστη αιχμή του φορτίου που είναι και το σημαντικό ζήτημα, το οποίο αφορά τόσο τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου όσο και τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Από τη μία πλευρά, οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου θα πρέπει να επεκτείνουν το δίκτυό τους για να μπορέσουν με αυτόν τον τρόπο να διοχετεύσουν με ηλεκτρικό ρεύμα για μικρές χρονικές περιόδους όπως π.χ. κατά την διάρκεια αιχμών του φορτίου που συνήθως καταγράφονται κατά τις απογευματινές περιόδους, όταν μεταδίδεται από μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας σε κατοικημένες περιοχές που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές. Αυτή η υποδομή είναι δαπανηρή και δημιουργεί επίσης δυσκολίες και κοινωνική αντίθεση. Από την άλλη πλευρά, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να αποκτήσουν ακριβή



ενέργεια για να ανταπεξέλθουν στα επίπεδα κατανάλωσης της ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου καθώς και για να αντιμετωπίσουν αυτήν την διακύμανση του φορτίου.

Μέσω της μεθόδου βελτιστοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας, αυτά τα ζητήματα θα μπορούν να μειωθούν με ελάχιστη προσπάθεια τόσο από την πλευρά των καταναλωτών όσο και των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καταναλωτές θα μπορούν καθημερινά να τροποποιούν ή να επιβεβαιώνουν τις ωριαίες προτιμήσεις τους όσον αφορά την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας τους. Προκειμένου να μειωθεί η συμμετοχή των καταναλωτών καθώς και να προστατευθεί επίσης αυτή η οικειότητα τους, οι συσκευές θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε ορισμένες κατηγορίες οι οποίες να επιτρέπουν στον προμηθευτή να χειρίζεται εύκολα την διαδικασία βελτιστοποίησης γνωρίζοντας μόνο τον τύπο των συσκευών, όπως δηλαδή αποτελεί η περίπτωση των προγραμματιζόμενων ή μη προγραμματιζόμενων (μετατοπίσιμες), με ή χωρίς διακοπή.

Οι μη προγραμματιζόμενες συσκευές, αν και σταθερές, επηρεάζουν την ωριαία κατανάλωση, επομένως μπορούν να ομαδοποιηθούν μειώνοντας την πολυπλοκότητα καθώς ακόμα και να διαχειριστούν από τους προμηθευτές λαμβάνοντας πάντα υπόψη την προηγούμενη κατανάλωση η οποία σχετίζεται με μετεωρολογικά δεδομένα. Από την άλλη πλευρά οι μετατοπίσιμες ή ελεγχόμενες συσκευές αποτελούν τον κύριο πυρήνα των αλγορίθμων βελτιστοποίησης, οι φωτοβολταϊκοί πόροι μπορούν να διαμοιραστούν σε επίπεδο κοινότητας για να ελαχιστοποιηθεί η αιχμή φορτίου καθώς και να μειωθεί η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τόσο ο αριθμός όσο και η αναλογία τέτοιων συσκευών στη συνολική κατανάλωση, σε επίπεδο των λεγόμενων έξυπνων σπιτιών, είναι μεγαλύτερη, δημιουργώντας συνήθως περισσότερο χώρο για περεταίρω εφαρμογές βελτιστοποίησης. Ωστόσο όμως, η εμπλοκή των μετατοπίσιμων συσκευών είναι δυνατή μόνο μέσω της διαδικασίας της μόνιμης παρακολούθησης αλλά και του έλεγχου με βάση τα μέσα ((Information Technology and Communications, (IT&C)), δηλαδή μέσω της τεχνολογίας της πληροφορίας και των επικοινωνιών.

Ο οικιακός τομέας σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση τόσο των κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όσο και των συστημάτων αποθήκευσης της ενέργειας θα πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), μέσω των συστημάτων οικιακής διαχείρισης της ενέργειας ((Home Energy Management, (HEMS)) για τα οποία έχει γίνει

εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 6, τα οποία έχουν την τάση να ελαχιστοποιούν το ποσοστό πληρωμής της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν μιλάμε για τιμή πληρωμής αναφερόμαστε στην τιμή αλλά και στην ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω του προγραμματισμού των συσκευών αλλά και των συστημάτων αποθήκευσης των νοικοκυριών ως απάντηση στα λεγόμενα (tariff schemes), δηλαδή τα καθεστώτα προκαταβολών. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να λυθεί είτε μέσω της εφαρμογής (heuristic), δηλαδή ευρετικών αλγορίθμων, είτε μέσω της εφαρμογής γενετικών αλγορίθμων, είτε μέσω της (binary particle swarm optimization), δηλαδή της βελτιστοποίησης μέσω δυαδικού συστήματος, είτε μέσω της χρήσης των υβριδικών αλγορίθμων ((Genetic Algorithms - Particle Swarm Optimization, (GA-PSO)).

Επίσης μία διαφορετική προσέγγιση κάνει αναφορά για έναν έξυπνο αλγόριθμο ελέγχου των συσκευών, ο οποίος σχετίζεται τόσο με την παρακολούθηση όσο και με τον έλεγχο της καθημερινής λειτουργίας των συσκευών σε σχέση με την ένταση της ενέργειας οι οποίες περιλαμβάνουν τον αλγόριθμο διαφορικής εξέλιξης μαζί με το μοντέλο ((Demand Site Management, (DSM)), όπου όπως έχουμε αναφέρει σχετίζεται με την διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης, με στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης και συνάμα την εύρεση βέλτιστης περίπτωσης ανά 30 λεπτά (Orrea et al., 2019). Τελικά αυτή η μέθοδος αποδείχθηκε αποτελεσματική για παράγοντες όπως π.χ. είναι η ελαχιστοποίηση της μηνιαίας πληρωμής της ηλεκτρικής ενέργειας, της αιχμής αλλά και της υπερφόρτωσης του μετασχηματιστή διανομής, ενώ παράλληλα μελετάται το αντίκτυπο των ποσοστών της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την συμπεριφορά της οικιακής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. (Orrea et al., 2019).

Σημαντικό ενδιαφέρον στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν τα μικρο-δίκτυα. Η διαχείριση της ενέργειας από πλευράς της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους μηχανισμούς για την λειτουργία των μικροδίκτυων στην νησιωτική τοπολογία, δηλαδή σε νησιωτικό περιβάλλον λειτουργίας, δεδομένης της περιορισμένης παραγωγικής ικανότητας στο μικρο-δίκτυο. Οι (Longe, Ouahada, Rimer, Ferreira και Han Vinck το 2017), αναφέρθηκαν σε ένα έξυπνο μικρο-δίκτυο το οποίο είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο και περιλαμβάνει τόσο ενεργούς όσο και παθητικούς καταναλωτές, ηλεκτρικά οχήματα και έναν κεντρικό χώρο μεγάλης κλίμακας αποθήκευσης της ενέργειας. Οι ερευνητές πρότειναν μια μέθοδο αποτελεσματικής διαχείρισης της ενέργειας, μέσω της εφαρμογής ενός

αλγόριθμοι κατανεμημένης βελτιστοποίησης διαχείρισης της ενέργειας του μικροδικτύου, ο οποίος θα διανέμεται εντός του δικτύου ανάλογα με τον τύπο του καταναλωτή. Η προσέγγιση βασίζεται σε μια βελτιστοποιημένη κατανάλωση της ενέργειας κάθε έξυπνου καταναλωτή λαμβάνοντας υπόψη την άνεση και το κέρδος. Ο κύριος στόχος της προτεινόμενης λύσης είναι να αποφέρει καλύτερη ικανοποίηση των καταναλωτών, υψηλότερη οικονομική εξοικονόμηση καθώς και μείωση της ζήτησης του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), δηλαδή του τον λόγο κορυφής αιχμής της ισχύς προς τον μέσο όρο της ισχύς στο δίκτυο κοινής ωφέλειας. Τα φορτία θέρμανσης είναι η πιο επικρατούσα ελεγχόμενη ζήτηση στα μικροδίκτυα. Σχετικές μελέτες έδειξαν ότι ένας αλγόριθμος διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), βάσει του άμεσου ελέγχου φορτίου, εφαρμόζει μείωση της μέγιστης τιμής της αιχμής. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην εξέταση μιας χρονικά μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας από την χρήση (ΑΠΕ) καθώς και της θερμικής άνεσης των κτιρίων. Ένας αλγόριθμος διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης χρησιμοποιείται στον ελεγκτή του μικροδικτύου για την μείωση της κορυφής της αιχμής καθώς και για την μείωση του ενεργειακού κόστους (Orrea et al., 2019).

Εν συνεχεία γίνεται αναφορά σε έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για ένα από τα έντεκα σύνολα δεδομένων κατανάλωσης που ανήκουν σε οικιακούς καταναλωτές, με στόχο την εξομάλυνση της καμπύλης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας για έναν καταναλωτή και τον καθορισμό του τιμολογίου ((Time-of-use, (ToU)), το οποίο αναφέρεται στην διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας, δηλαδή όλου του 24ώρου και αποσκοπεί σε μείωση του ποσοστού πληρωμής που αντιστοιχεί στην χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης επεκτείνει την έρευνα της προτείνοντας τέσσερις νέους αλγόριθμους, εμπλέκοντας παράλληλα περισσότερες συσκευές και φωτοβολταϊκά συστήματα σε κοινοτικό επίπεδο. (Orrea et al., 2019).

Σε αυτό το σημείο της διπλωματικής εργασίας, προτείνονται τέσσερις αλγόριθμοι:

1. Αλγόριθμος βελτιστοποίησης της κατανάλωσης (non-interruptible programmable appliances), δηλαδή των μη διακοπτόμενων προγραμματιζόμενων συσκευών.
2. Αλγόριθμος ελαχιστοποίησης του εύρους του διανύσματος της ημερήσιας κατανάλωσης.

3. Αλγόριθμος μεγιστοποίησης / ελαχιστοποίησης της ελάχιστης / μέγιστης κατανάλωσης.
4. Αλγόριθμος ελαχιστοποίησης της διασποράς.

Στο διαταύτα αυτοί οι τέσσερις αλγόριθμοι ενσωματώνονται σε μια μεθοδολογία βελτιστοποίησης, η οποία προσβλέπει στην ελαχιστοποίηση της κορυφής, δηλαδή του (peak) καταναλώμενης της ενέργειας, η οποία προκύπτει από έντεκα σύνθετα έξυπνα σπίτια στις Ηνωμένες Πολιτείες, με πάνω από τριακόσιες σύγχρονες συσκευές και οκτώ συστήματα φωτοβολταϊκών οροφών καθώς και συστήματα μέτρησης αποτελούμενα από αισθητήρες και έξυπνους μετρητές. Πολλές συσκευές ταξινομούνται από τον ρόλο τους κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης, όπως π.χ. υπάρχουν μη προγραμματιζόμενες και προγραμματιζόμενες συσκευές με ή χωρίς διακοπή. Τα δεδομένα κατανάλωσης αλλά και οι προτιμήσεις των καταναλωτών αποτελούν δεδομένα εισαγωγής για τους τέσσερις αλγόριθμους που εκτελούνται παράλληλα σε επίπεδο κοινότητας και η καλύτερη επιλογή λύσης επιλέγεται για την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μοιράζεται μεταξύ των έντεκα σπιτιών, βελτιώνοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα των αλγορίθμων βελτιστοποίησης (Orpea et al., 2019).

Η κύρια δυσκολία σε σχέση με την βελτιστοποίηση μείωσης της κορυφής της κατανάλωσης της ενέργειας αποτελεί το γεγονός ότι αυτός ο τύπος προβλήματος δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί, ούτε από μια γραμμική ή γενικότερα μια κυρτή αντικειμενική συνάρτηση, αλλά ούτε και με την χρήση γραμμικών περιορισμών. Για αυτόν τον λόγο, μια αφελής προσέγγιση που βασίζεται στην ανάλυση όλων των πιθανών σεναρίων θα οδηγήσει σε έναν εκθετικό αλγόριθμο σε σχέση με τον αριθμό των συσκευών. Έτσι ως στόχος προκύπτει η πρόταση εφαρμογής αποτελεσματικών αλγορίθμων που συγκλίνουν με έναν λογικό πολυωνυμικό ρυθμό, καθώς αυτή η προσέγγιση αποτελεί τάση σε πολλές μελέτες που επικεντρώνονται στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων στην θεωρία αποφάσεων.

- Η μεθοδολογία βελτιστοποίησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από πέντε στάδια τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 7.3.1.



Σχήμα 7.3.1 Μεθοδολογία βελτιστοποίησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Source: (Oprea et al., 2019).

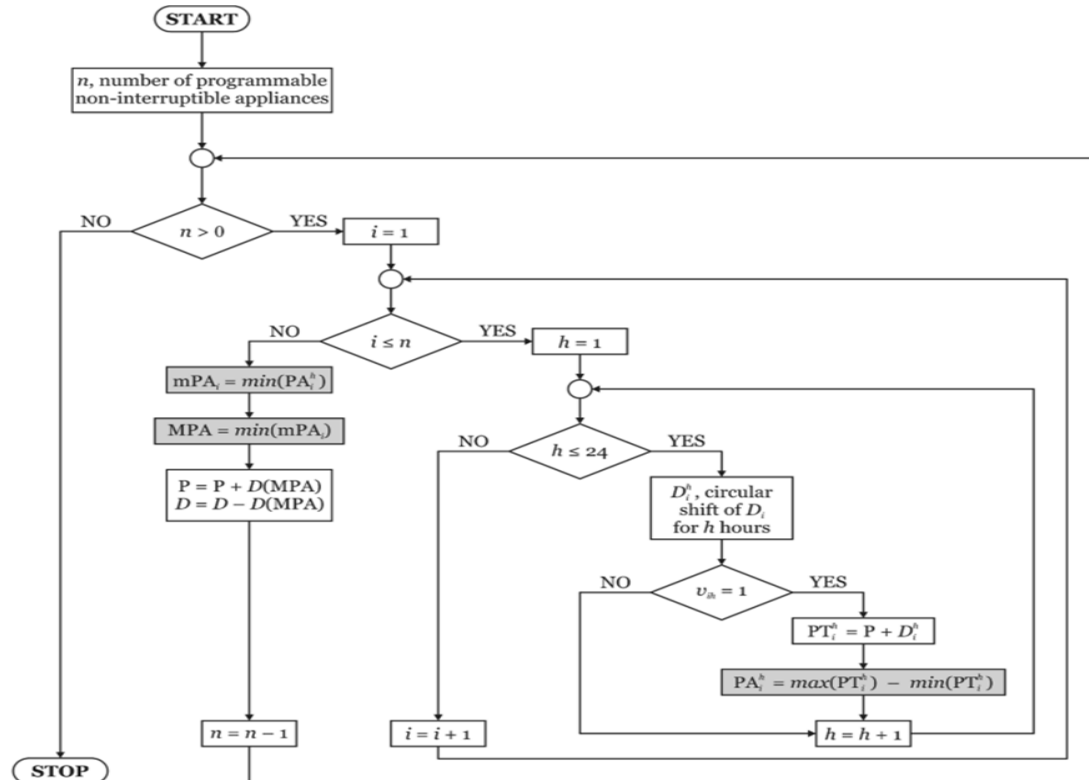
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Σχήματος 7.3.1 μπορούν να ειπωθούν τα εξής για την συγκεκριμένη περίπτωση:

- Η επεξεργασία των δεδομένων εισαγωγής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται τον καθαρισμό τόσο των σφαλμάτων ανάγνωσης όσο και της συγκέντρωσης των στοιχείων εγγραφής, ως θέμα το οποίο προκύπτει μέσω των διαφορετικών αναλύσεων από την χρήση των αισθητήρων αλλά και των έξυπνων μετρητών.
- Τα δεδομένα εισαγωγής απαιτούν αναλύσεις για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων βελτιστοποίησης σε επίπεδο κοινότητας.
- Οι διάφορες εμπλεκόμενες συσκευές και συγκεκριμένα στην περίπτωσή μας απαριθμούνται πάνω από 300, ταξινομούνται προκειμένου να διευκολύνουν την διαδικασία βελτιστοποίησης και να προστατεύσουν αυτήν την σχέση με τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης αντί να εξετάζεται κάθε συσκευή βάσει είτε του ονόματος, είτε της επωνυμίας της, ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες οι οποίες καλύπτουν την χρήση τους και υπαινίσσονται μόνο τον ρόλο τους στην διαδικασία της βελτιστοποίησης. Επίσης, το ενεργειακό δυναμικό μέσω της χρήσης των Φ/Β στοιχείων θα διανεμηθεί σε επίπεδο κοινότητας, στην περίπτωση όταν η παραγωγική ικανότητα των καταναλωτών θα υπερβαίνει τις απαιτήσεις κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης εκτελούνται παράλληλα, σε επίπεδο κοινότητας και η καλύτερη επιλογή εφαρμογής αλγόριθμου θα συμβάλει στον προγραμματισμό των συσκευών που θα πραγματοποιηθούν την επόμενη μέρα.
- Τα αποτελέσματα συγκρίνονται βάσει κάποιων όρων, καλή ώρα στην περίπτωση μας, σύμφωνα με την αιχμή του φορτίου αλλά και της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε επίπεδο κοινότητας όσο και μεμονωμένα για κάθε σπίτι.

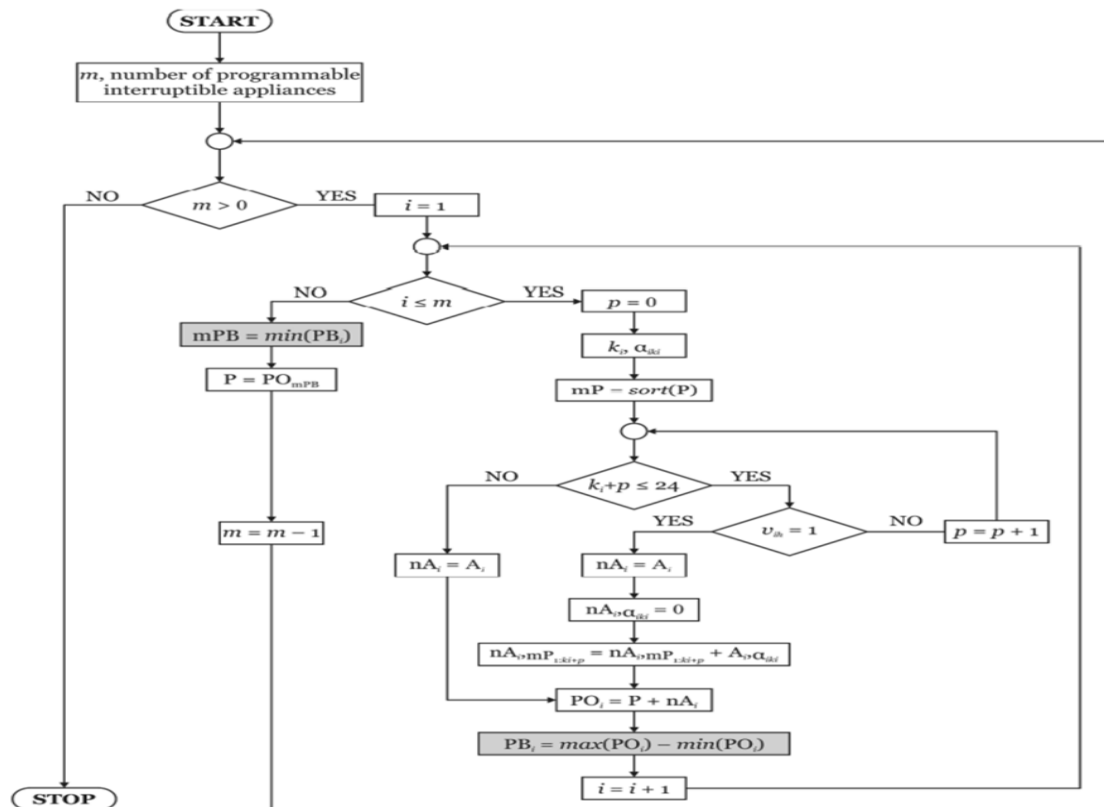
Τα δεδομένα κατανάλωσης συλλέγονται από αισθητήρες και έξυπνους μετρητές σε διαφορετικά χρονικά δεδομένα ανάλυσης, δηλαδή είτε ανά δευτερόλεπτο, είτε ανά λεπτό, είτε ανά 15 λεπτά, είτε ανά 30 λεπτά, είτε τέλος και ανά 1 ώρα. Λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να υπάρξει ποικιλομορφία της ανάλυσης για το ίδιο σπίτι σε διαφορετικές περιόδους του έτους καθώς και για να μπορέσει να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας εντός της κοινότητας σε σχέση με την ελαχιστοποίηση της αιχμής του φορτίου, όλα τα σύνολα δεδομένων από αυτά τα 11 σπίτια που αποτελούν μέρος της κοινότητας, έχουν υποστεί επεξεργασία σύμφωνα με την ωριαία μέση κατανάλωση. Αυτή η προσέγγιση συμβάλει στη βελτιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας τόσο σε σύνολα δεδομένων 24 ωρών όσο και ενός έτους (Oprea et al., 2019).

- Διαγράμματα ροής για βελτιστοποίηση κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν εφαρμοστεί και προσομοιωθεί μέσω εφαρμογής του προγράμματος Matlab. Τα διαγράμματα ροής που σχετίζονται με την βελτιστοποίηση τόσο των προγραμματιζόμενων μη διακοπτόμενων όσο και των διακοπτόμενων συσκευών παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.3.2 και 7.3.3



Σχήμα 7.3.2 Διάγραμμα ροής βελτιστοποίησης των προγραμματιζόμενων μη διακοπτόμενων συσκευών. Source: (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.3 Διάγραμμα ροής βελτιστοποίησης των προγραμματιζόμενων διακοπτόμενων συσκευών. Source: (Orrea et al., 2019).

Σε σχέση με την μέθοδο βελτιστοποίησης των προγραμματιζόμενων μη διακοπτόμενων και διακοπτόμενων συσκευών που απεικονίζονται στα Σχήματα 7.3.2 & 7.3.3, ακολουθούνται τα ίδια σημαντικά βήματα και στους τέσσερις αλγόριθμους, η διαφορά συνίσταται στο κριτήριο βελτιστοποίησης και αναφέρεται στα γκρίζα μπλοκ. Τα δύο διαγράμματα ροής απεικονίζονται για τον πρώτο αλγόριθμο βελτιστοποίησης που αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση του εύρους της ημερήσιας κατανάλωσης, βέβαια μπορούν να προσαρμοστούν και για τους άλλους τρεις αλγόριθμους με μικρές τροποποιήσεις. (Orrea et al., 2019).

Οι προγραμματιζόμενες μη διακοπτόμενες συσκευές,  $D_i$   $i=1, \dots, n$ , εξάγονται από τη βάση δεδομένων κάθε σπιτιού και ενοποιούνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός πλαισίου  $24 \times n$ , εκ των οποίων οι 24 σειρές αντιστοιχούν για τις 24 h ώρες, ενώ οι  $n$  στήλες αντιστοιχούν στις προγραμματιζόμενες μη διακοπτόμενες συσκευές. Η ιδέα πίσω από αυτούς τους τέσσερις αλγόριθμους βελτιστοποίησης, συνίσταται στην μετατόπιση της κατανάλωσης κάθε προγραμματιζόμενης μη διακοπτόμενης συσκευής  $D_i$ , σε όλες τις πιθανές επιτρεπόμενες ώρες και εν συνεχεία

επιλογή του πιο βολικού συνδυασμού. Πρακτικά, η κατανάλωση των προγραμματιζόμενων μη διακοπτόμενων συσκευών  $D_i$  μπορεί να μετατοπιστεί με μία ώρα, με αποτέλεσμα να υπάρξουν συνολικά 23 πιθανές αλλαγές, βασικά όμως είναι 24 συνδυασμοί, εάν συνυπολογιστεί και η αρχική κατανάλωση. Επειδή ο χρόνος λειτουργίας μιας συσκευής μπορεί να διαρκέσει έως την επόμενη μέρα, θα πρέπει να εφαρμοστεί κυκλική μετατόπιση των στοιχείων  $D_i$ , δηλαδή των συσκευών. Το διάνυσμα  $D_i^h$  αποτελεί ένα πλαίσιο το οποίο εμπεριέχει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που μπορεί να πετύχει μία συσκευή, με διάσταση  $24 \times 24$ . Ο αριθμός των πιθανών συνδυασμών που αφορούν μία συσκευή είναι πάντα 24 και για να απλοποιήσουμε αυτήν την σημειογραφία χρησιμοποιούμε το  $h$  το οποίο αναφέρεται στις ώρες, αλλά στο superscript για τον λόγο ότι αναφέρεται στην άλλη διάσταση.

Πάντως επισημαίνεται ότι δεν είναι εφικτοί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί, διότι η συσκευή ενδέχεται να μην επιτρέπεται να λειτουργεί κατά την διάρκεια ορισμένων ωρών λόγω του πλαισίου περιορισμών της κατάστασης,  $v_{ih}$ ,  $i=1, \dots, n$ ,  $h=1, \dots, 24$ . Οι μη εφικτοί συνδυασμοί θα μπορούσαν να εξαλειφθούν ή να αντικατασταθούν με μη αριθμητικά στοιχεία για να διατηρηθεί το ίδιο μέγεθος του  $D_i^h$ . Κάθε εφικτός συνδυασμός προστίθεται στο διάνυσμα  $P$  το οποίο συνοψίζει την κατανάλωση όλων των μη προγραμματιζόμενων συσκευών, με αποτέλεσμα το πλαίσιο  $PT_i^h$ , το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό του εύρους της ημερήσιας κατανάλωσης ( $\max(PT_i^h) - \min(PT_i^h)$ ), όπου και αποτελεί το κριτήριο βελτιστοποίησης.

Το  $PA_i^h$  αποτελεί ένα πλαίσιο  $n \times 24$  (if all  $D_i^h$  were allowed), το οποίο περιέχει το εύρος της ημερήσιας κατανάλωσης της ενέργειας όλων των πιθανών συνδυασμών, για όλες τις προγραμματιζόμενες μη διακοπτόμενες συσκευές. Το  $mPA_i$  αποτελεί ένα διάνυσμα το οποίο εμπεριέχει το ελάχιστο εύρος για κάθε συσκευή, ενώ το  $MPA$  αποτελεί ένα κλιμάκιο που αντιπροσωπεύει την συσκευή και τον συνδυασμό που δίνει το μικρότερο εύρος (Oprea et al., 2019).

Ο καλύτερος συνδυασμός μεταξύ  $P$  και  $D_i^h$ , δηλαδή μεταξύ του διανύσματος που εμπεριέχει την κατανάλωση μιας συσκευής και του διανύσματος πλαισίου, το οποίο εμπεριέχει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που μπορεί να εξασφαλίσει μία συσκευή, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός νέου διανύσματος  $P$  για την επόμενη επανάληψη



του αλγορίθμου, ενώ το  $D_i$  θα συμπεριλαμβάνει μια συσκευή λιγότερο. Ο αλγόριθμος εν συνεχεία σταματά όταν το πλαίσιο των συσκευών  $D_i$  θα είναι κενό.

Για τους άλλους τρεις αλγόριθμους η διαδικασία αναζήτησης είναι η ίδια, αλλάζει μόνο το κριτήριο βελτιστοποίησης, ως εξής:

- Min/max consumption:  $PA_i^h = \min(PT_i^h)$ ;  $mPA_i = \max(PA_i^h)$ ;  $MPA = \max(mPA_i)$ ;
- Max/min consumption:  $PA_i^h = \max(PT_i^h)$ ;  $mPA_i = \min(PA_i^h)$ ;  $MPA = \min(mPA_i)$ ;
- Dispersion minimization:  $PA_i^h = \sum (PT_i^h)^2$ ;  $mPA_i = \min(PA_i^h)$ ;  $MPA = \min(mPA_i)$ ;

Οι προγραμματιζόμενες διακοπτόμενες συσκευές,  $A_i$ ,  $i=1, \dots, m$ , εξάγονται από τα σύνολα δεδομένων του κάθε σπιτιού και συνενώνονται ομοίως με τις μη διακοπτόμενες συσκευές, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός πλαισίου  $24 \times m$ . Σε αντίθεση με τις μη διακοπτόμενες συσκευές, η βελτιστοποίηση των διακοπτόμενων συσκευών βασίζεται στην μετατόπιση της κατανάλωσής τους στις ώρες όπου σημειώνεται χαμηλότερη κατανάλωση της ενέργειας, δηλαδή όταν η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλή. Αυτή η διαδικασία είναι ταχύτερη επειδή απαιτεί λιγότερη επανάληψη σε σχέση με την προηγούμενη διαδικασία.

Για να επιτευχθεί αλλαγή στην κατανάλωση των διακοπτόμενων συσκευών σε ώρες όπου το φορτίο της ζήτησης θα είναι χαμηλότερο, το δiάνυσμα  $P$  θα πρέπει να ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά,  $mP$ . Η μετατόπιση της κατανάλωσης  $A_i$  στην αρχή του διανύσματος  $mP$ , δηλαδή σε αυτό το σημείο γίνεται αναφορά για μια μετακίνηση σε ώρες, όπου στις δεδομένες αυτές χρονικές περιόδους επικρατούν χαμηλότερες καταναλώσεις, βέβαια ως προϋπόθεση απαιτείται να είναι γνωστή τόσο η διάρκεια λειτουργίας της συσκευής, δηλαδή το  $k_i$  όσο και της ωριαίας κατανάλωσης, δηλαδή το  $\alpha_{ik_i}$ . Εάν η μετατόπιση επιτρέπεται από το πλαίσιο του περιορισμού της κατάστασης,  $v_{ih}$ , θα χρειαστούν τρία βήματα:

1. Δημιουργία ενός νέου πλαισίου πανομοιότυπου,  $nA_i$ , πανομοιότυπου με τον  $A_i$ ;
2. Εκκαθάριση των ωρών από το  $nA_i$  το οποίο θα πρέπει να αλλάξει:  $nA_i, \alpha_{ik_i} = 0$ ;
3. Πρόσθεση της κατανάλωσης των εκκαθαρισμένων ωρών, στις ώρες με την χαμηλότερη κατανάλωση που δίνεται από το ταξινομημένο δiάνυσμα  $P$ ,  $mP$ .

Όταν δεν επιτρέπεται η λειτουργία της συσκευής, τότε  $v_{ih}=0$ , η κατανάλωση  $A_i$  θα μετακινηθεί στα επόμενα  $k_i$  ελάχιστα του  $mP$ . Ο αλγόριθμος ψάχνει τις  $k_i$  διαδοχικές ώρες στο ταξινομημένο δiάνυσμα  $mP$ , όταν θα επιτρέπεται η λειτουργία της συσκευής.

Εάν βρεθεί, ο νέος βέλτιστος συνδυασμός τότε προστίθεται στο P ( $PO_i = P + nA_i$ ), διαφορετικά θα χρησιμοποιηθεί το υπάρχον  $A_i$ . Για κάθε συσκευή, θα ληφθεί μόνο ένας βέλτιστος συνδυασμός, το  $PB_i^h$ , το διάνυσμα που περιέχει το εύρος της ημερήσιας κατανάλωσης, θα έχει το μέγεθος ίσο με  $m \times 1$ . Τον καλύτερο συνδυασμό αποτελεί το ελάχιστο  $PB_i^h$ , επίσης η συσκευή που συνέβαλε σε αυτό θα προστεθεί στο P, ώστε να γίνει το νέο P για το επόμενο loop, δηλαδή την επόμενη επανάληψη. Ομοίως, τώρα και με τις μη διακοπτόμενες συσκευές, αυτός ο αλγόριθμος θα σταματήσει όταν το πλαίσιο των συσκευών  $A_i$  θα είναι κενό, αυτό συνεπάγεται ότι όλες οι διακοπτόμενες συσκευές θα μετατοπίζονται. Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι και οι τέσσερις αλγόριθμοι μπορούν να εφαρμοστούν με την περίπτωση των διακοπτόμενων συσκευών. Επίσης όλες οι προγραμματιζόμενες συσκευές μπορούν να βελτιστοποιηθούν με οποιονδήποτε συνδυασμό των τεσσάρων αλγορίθμων.

Πολλοί νέοι κανόνες θα μπορούσαν να προστεθούν σε αυτήν την δομή με στόχο την βελτίωση του στοιχείου της άνεσης του καταναλωτή, όπως π.χ. αποτελεί η μετακίνηση μόνο μιας συσκευής εάν επιφέρει σχετικά οφέλη προς τον πελάτη, αυτό βέβαια από την άλλη πλευρά θα απαιτούσε καλύτερη γνώση των προδιαγραφών των συσκευών.

- Για την αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων που σχετίζονται με το κομμάτι της βελτιστοποίησης της ημερήσιας κατανάλωσης της ενέργειας και συγκεκριμένα σε ότι έχει να κάνει με την μείωση της κορυφής της αιχμής ζήτησης – κατανάλωσης της ενέργειας, λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι δείκτες:

α) Ο ((Flattening Index, (FI)), δηλαδή ο δείκτης μείωσης, ορίζεται ως η σχέση μεταξύ της μέσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας προς την peak τιμή ή αλλιώς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης:

$$FI = \frac{C^{mean}}{C^{peak}}$$

(1)

Ο δείκτης μείωσης ((Flattening Index, (FI)), δημιουργεί τιμές μεταξύ του 0 και του 1, τείνοντας προς το 1, έτσι ώστε να βρίσκονται όσο πιο κοντά οι τιμές της κατανάλωσης της ενέργειας στον ημερήσιο μέσο όρο.

β) Ο δείκτης ((Peak to Average Ratio, (PAR)), δηλαδή ο μέγιστος λόγος κορυφής, ορίζεται ως η σχέση μεταξύ της μέγιστης τιμής κατανάλωσης (peak), στο τετράγωνο προς την μέση τιμή κατανάλωσης στο τετράγωνο.

$$PAR = \frac{C_{peak}^2}{C_{mean}^2} \quad (2)$$

Ο δείκτης ((Peak to Average Ratio, (PAR)), έχει μεγαλύτερες τιμές όταν το εύρος της κατανάλωσης είναι υψηλό και πλησιάζει το 1 όταν το εύρος τους τείνει στο 0. Για να διερευνηθεί και γίνει κατανοητός ο αντίκτυπος της παραγόμενης ενέργειας σε ολόκληρη την κοινότητα, έχει εφαρμοστεί κομμάτι τοπικής παραγωγής ενέργειας.

γ) Το συνολικό πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας,  $SGE_T^h$ , αντιπροσωπεύει το άθροισμα της επιπλέον ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σπίτι, όπου είναι δυνατή η παραγωγή, ενώ η συνολική απαιτούμενη ενέργεια σε επίπεδο κοινότητας  $RE_T^h$ , αποτελεί το άθροισμα της απαιτούμενης ενέργειας κάθε σπιτιού σε μια συγκεκριμένη ώρα.

$$SGE_T^h = \sum_{i=A}^K SGE_{H_i}^h, \forall H_i = A, \bar{K} \quad (3)$$

$$RE_T^h = \sum_{i=A}^K RE_{H_i}^h, \forall H_i = A, \bar{K} \quad (4)$$

δ) Το ποσοστό της απαιτούμενης ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε σπίτι σε σχέση με την συνολική απαιτούμενη ενέργεια καθορίζεται από το  $P_{H_i}$ .

$$P_{H_i} = \frac{RE_{H_i}^h}{RE_T^h} \times 100 \quad (5)$$

ε) Έτσι, η κοινή ποσότητα ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας είναι η  $P_{H_i}$ , η οποία πολλαπλασιάζεται με την συνολική πλεονάζουσα ενέργεια σε επίπεδο κοινότητας  $SGE_T^h$ .

$$SE_{H_i}^h = P_{H_i} \times SGE_T^h \quad (6)$$

ζ) Εάν (if), η συνολική απαιτούμενη ενέργεια σε επίπεδο κοινότητας  $RE_T^h$  είναι  $> SGE_T^h$  από το συνολικό πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας, τότε η διαφορά μεταξύ της απαιτούμενης ενέργειας και της κοινής ενέργειας για κάθε σπίτι αντιπροσωπεύει την ενέργεια που αποσύρεται από το δίκτυο.

$$GridE_{H_i}^h = RE_{H_i}^h - SE_{H_i}^h \quad (7)$$

η) Επομένως, η πληρωμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση χρήσης κοινής ενέργειας γίνεται με την ακόλουθη εξίσωση:

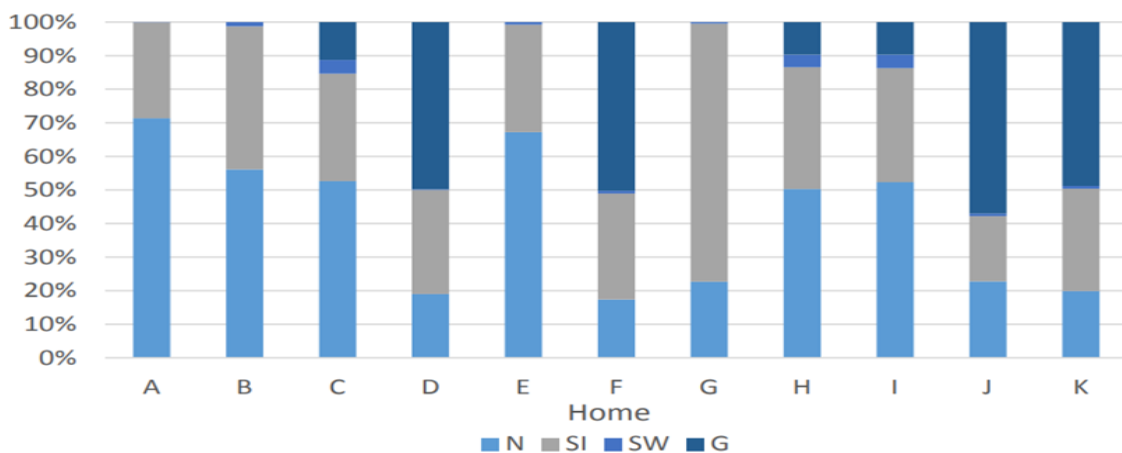
$$Payment_{Hi} = \sum_{h=1}^{24} SE_{Hi}^h \times t_L + GridE_{Hi}^h \times r_{ToU}^h \quad (8)$$

Όπου:  $t_L$  αντιπροσωπεύει το τοπικό τιμολόγιο ηλεκτρικής ενέργειας &  $r_{ToU}^h$  αντιπροσωπεύει την τιμή ανά ώρα σύμφωνα με την διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας ((Time of Use, (ToU)).

- Αναλύσεις συνόλων δεδομένων εισόδου και τιμολόγια ((Time of Use, (ToU))

Το σύνολο των 11 σπιτιών μεταξύ των οποίων (HomeA έως HomeK), τα οποία απαρτίζονται από 312 μετρημένες μεμονωμένες συσκευές ή χώρους κατανάλωσης, όπως π.χ. τοίχοι, δωμάτια αποτελούμενα από ένα σύνολο μετρητών, αισθητήρων καθώς και χρήση 8 φωτοβολταϊκών στοιχείων χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα:

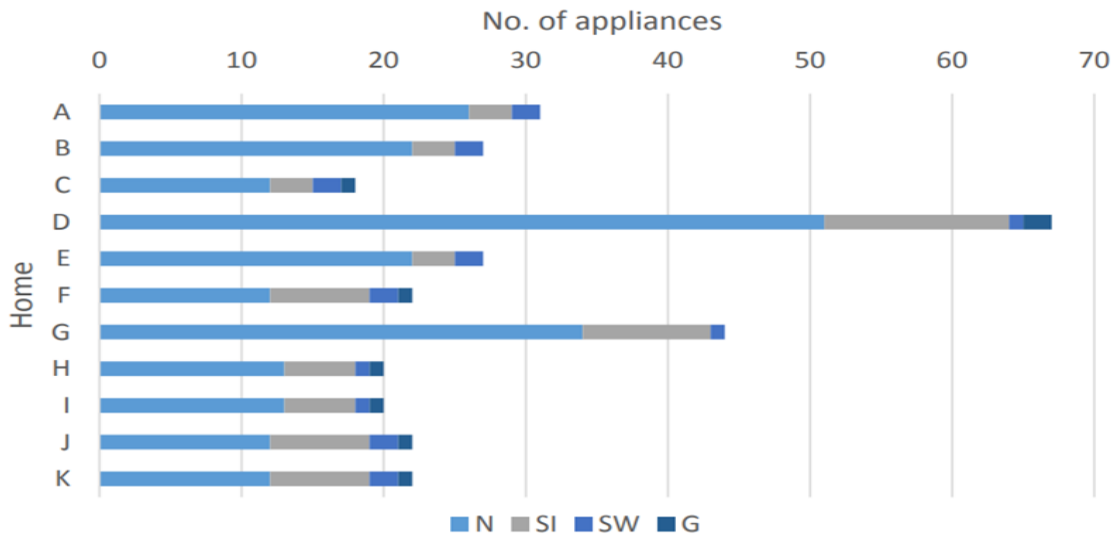
- Οι συσκευές ή περιοχές κατανάλωσης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: Μη προγραμματιζόμενες ((Non-programmable, (N)), προγραμματιζόμενες ή μετατοπίσιμες χωρίς διακοπή Programmable or ((Shiftable Without interruption, (SW)) και προγραμματιζόμενες μετατοπίσιμες με διακοπή ((Programmable Shiftable Interruptible, (SI)). Το υψηλότερο όριο των μη προγραμματιζόμενων συσκευών (N), ανήκουν στο HomeA και στο HomeE με ποσοστό που ανέρχεται περίπου στο 70%, ενώ οι πιο ευέλικτες συσκευές ανήκουν στο HomeG.
- Το δυναμικό υψηλής παραγωγικής δυνατότητας (G) εμφανίζεται στα: HomeD, HomeF, HomeJ και HomeK, σύμφωνα με το Σχήμα 7.3.4.



Σχήμα 7.3.4. Κατανομή των συσκευών βάσει τύπου και γενιάς σε επίπεδο σπιτιού.  
Source: (Oprea et al., 2019).

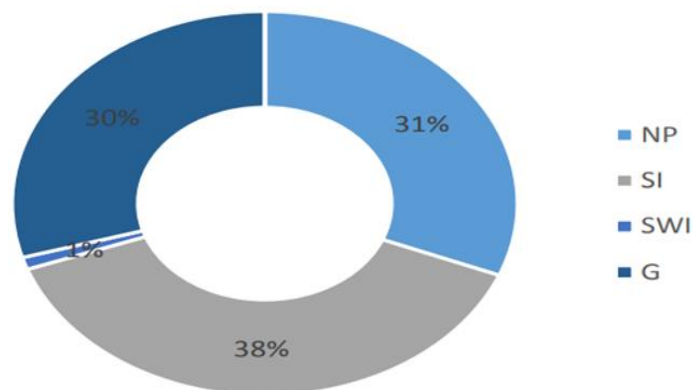
- Οι συνολικές συσκευές ή αντίστοιχα οι χώροι κατανάλωσης όπου θα μπορούσαν να είναι π.χ. ολόκληρα δωμάτια ή ορισμένοι τοίχοι από ομάδες συσκευών ενός

συγκεκριμένου δωματίου, ανά κατηγορίες, όπου κατανέμονται σε επίπεδο σπιτιού όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 7.3.5.



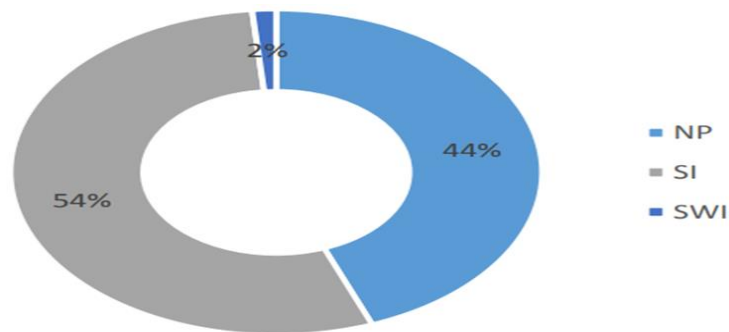
Σχήμα 7.3.5. Αριθμός διανομής των συσκευών που αντιστοιχεί σε κάθε σπίτι. Source: (Oprea et al., 2019).

Η διανομή των συσκευών ανά κατηγορία και γενιάς σε επίπεδο κοινότητας απεικονίζεται στο Σχήμα 7.3.6 καθώς επίσης και η διανομή των συσκευών ανά κατηγορία σε επίπεδο κοινότητας απεικονίζεται στο Σχήμα 7.3.7.



Σχήμα 7.3.6. Διανομή συσκευών και παραγωγής σε κοινοτικό επίπεδο. Source: (Oprea et al., 2019).

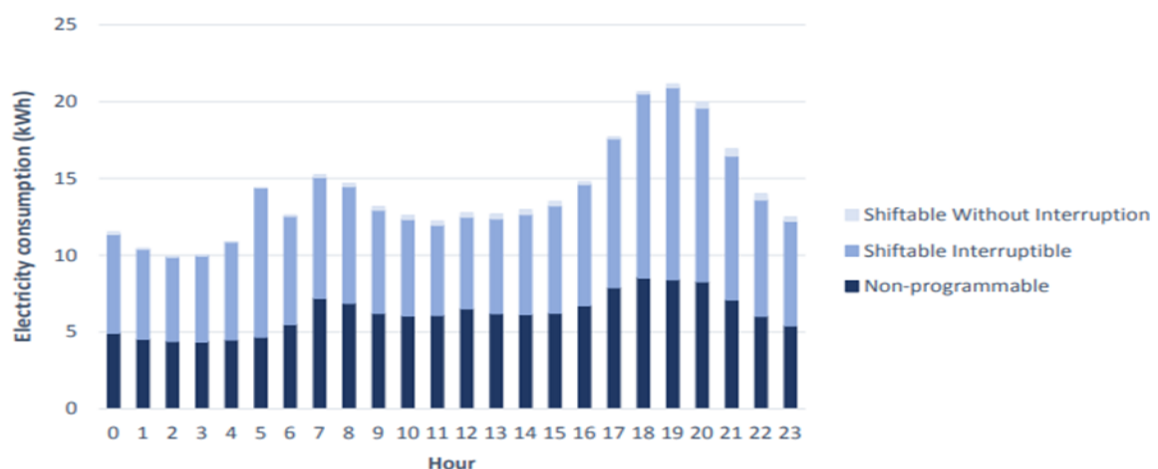
Η ποσότητα ενέργειας που προέρχεται από την χρήση των Φ/Β στοιχείων ανέρχεται περίπου στο 30%.



Σχήμα 7.3.7 Διανομή συσκευών ανά κατηγορίες σε κοινοτικό επίπεδο. Source: (Oprea et al., 2019).

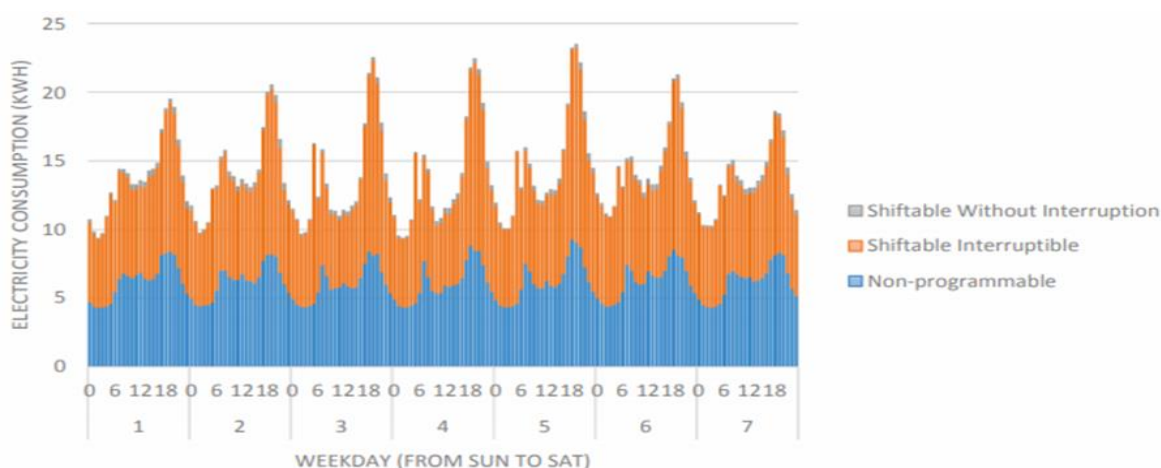
Επίσης το 56% των συσκευών που είναι γνωστές ως προγραμματιζόμενες συσκευές είναι ευέλικτες. Αυτό αποδεικνύει ότι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα βελτιστοποίησης, δεδομένου ότι μόνο το 44% των συσκευών είναι σταθεροποιημένο και δεν μπορεί να μετατοπιστεί, καθώς θα επηρεάσει τις προτιμήσεις αλλά και την άνεση των καταναλωτών.

Επιπλέον στο Σχήμα 7.3.8 γίνεται αναφορά στο ωριαίο προφίλ του φορτίου, το οποίο επίσης αναδεικνύει την κατανομή των συσκευών ανά κατηγορία όπως π.χ. (συσκευές με δυνατότητα αλλαγής χωρίς διακοπή, συσκευές με δυνατότητα αλλαγής με διακοπή και μη προγραμματιζόμενες συσκευές) και περιγράφει τις ώρες αιχμής κατά την βραδινή περίοδο μεταξύ 17:00 έως 21:00 καθώς και τις ώρες εκτός αιχμής κατά την βραδινή περίοδο μεταξύ 01:00 έως 04:00. (Simona Vasilica Opreaa, Adela Bâraa, George Adrian Ifrimb, Lucian Coroianuc, Day-ahead electricity consumption optimization algorithms for smart homes, 2019).



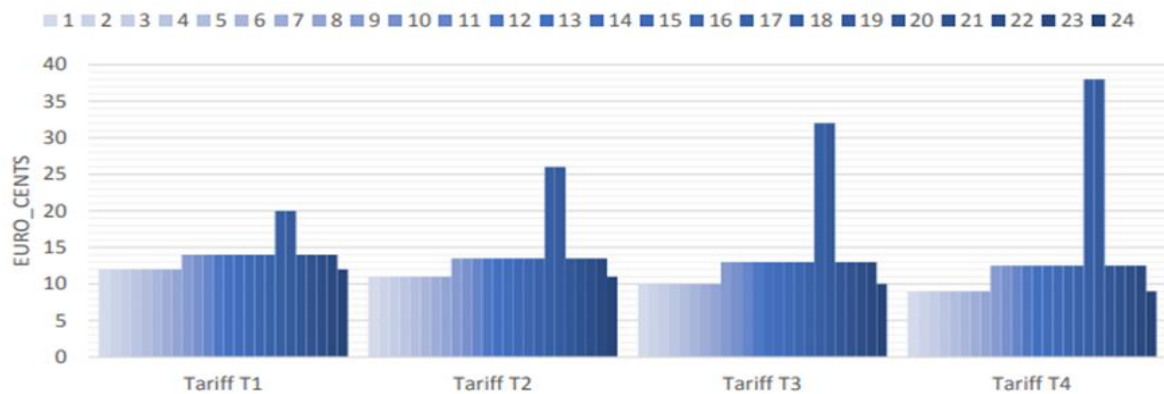
Σχήμα 7.3.8. Ωριαίο προφίλ του φορτίου σε επίπεδο κοινότητας. Source: (Oprea et al., 2019).

Στην συνέχεια το Σχήμα 7.3.9 αποτυπώνει το ωριαίο εβδομαδιαίο προφίλ του φορτίου, επισημαίνοντας ότι κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου η κατανάλωση της ενέργειας είναι ελαφρώς χαμηλότερη.



Σχήμα 7.3.9. Ωριαίο εβδομαδιαίο προφίλ του φορτίου. Source: (Oprea et al., 2019).

Η εφαρμογή των τεσσάρων αλγορίθμων αποτιμάται με τέσσερα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), που προτείνονται στην Έκθεση ευρημάτων Ηλεκτρονικής Έξυπνης μέτρησης συμπεριφοράς των πελατών (“Electricity Smart Metering Customer Behaviour Trials (CBT) Findings Report,” n.d.). Για τα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)) T1, T2, T3 και T4, τα διαστήματα ωρών αιχμής και εκτός αιχμής ορίζονται όπως αποτυπώνονται στο Σχήμα 7.3.10. Κατά την εφαρμογή των τεσσάρων αλγορίθμων εφαρμόζονται τέσσερα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), τα οποία σχετίζονται με την διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας και προτείνονται στην έκθεση ευρημάτων που προκύπτει μέσω της ηλεκτρονικής έξυπνης μέτρησης σχετικά με την συμπεριφορά των πελατών (“Electricity Smart Metering Customer Behaviour Trials (CBT) Findings Report,” n.d.). Συγκριτικά, το τυπικό τιμολόγιο που εφαρμόστηκε πριν από τα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)) ήταν το 14,1 σεντ / kWh.



Σχήμα 7.3.10. Τιμολόγηση της ενέργειας βάσει εφαρμογής των προγραμμάτων (ΤοU).

Source: (Oprea et al., 2019).

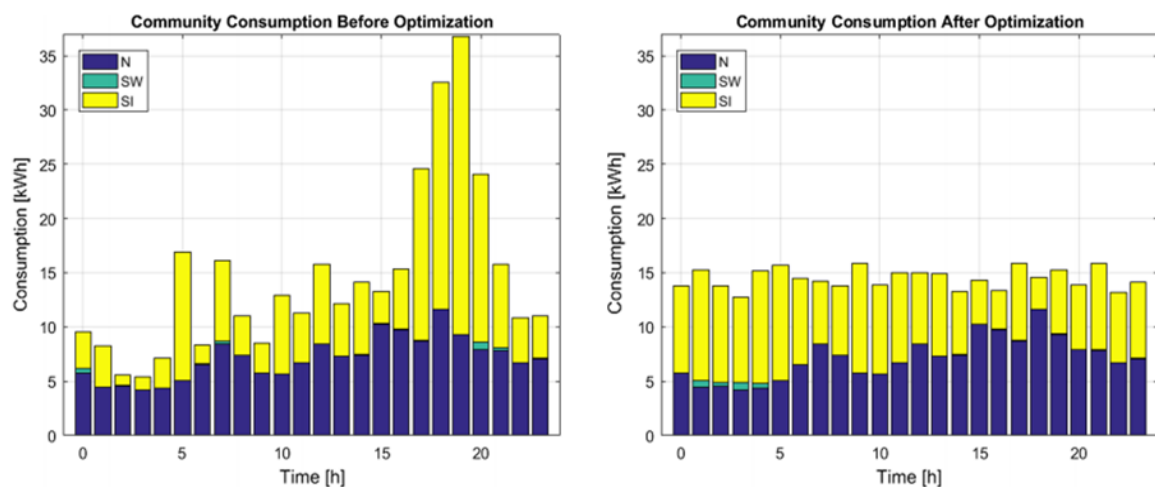
Αναλύοντας τα δεδομένα του Σχήματος 7.3.10, τα οποία όπως είπαμε σχετίζονται με την εφαρμογή των προγραμμάτων ((Time of Use, (ToU)), τα οποία αναφέρονται στην διαφορετική τιμολόγησης της ενέργειας για όλο το 24ωρο της ημέρας, προκύπτει ότι: Εμφανίζεται μια μετατόπιση του φορτίου κατανάλωσης της ενέργειας κατά την περίοδο της νύχτας, όταν δηλαδή ο συντελεστής τιμολόγησης της ενέργειας είναι πολύ πιο χαμηλός και συνεπώς υπάρχει μια ανταμοιβή προς τον πελάτη μέσω της χαμηλότερης τιμής της ενέργειας, με επακόλουθο βέβαια την αποθάρρυνση των πελατών στο να καταναλώνουν ενέργεια ειδικά κατά τις απογευματινές ώρες, όπου δηλαδή υπάρχει κορύφωση της αιχμής της ζήτησης για ενέργεια. Όπως προκύπτει βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων τα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), T1 και T2 είναι πιο ήπια, ενώ αντίθετα τα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), T3 και T4 είναι πιο ακραία, διατηρώντας το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης εξοικονόμησης όταν μετατοπίζεται το κομμάτι της μέγιστης κατανάλωσης της ενέργειας (Oprea et al., 2019).

- Προσομοίωση & αποτελέσματα.

Οι τέσσερις παραπάνω αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν εφαρμοστεί σε περιβάλλον λειτουργίας το (Matlab) και έχουν σχεδιαστεί για προσομοίωση τόσο σε σύνολα δεδομένων 24 ωρών όσο και ενός έτους. Τα απαιτούμενα δεδομένα για την προσομοίωση ( $P$ ,  $D_i$ ,  $A_i$ ), εξάγονται σε κάθε εκτέλεση, από τα σύνολα δεδομένων των 11 σπιτιών (A έως K), έτσι, μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε ημέρα του έτους. Για να απεικονιστεί η ικανότητα ελαχιστοποίησης της κορυφής κατανάλωσης της ενέργειας, το λεγόμενο (peak), οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν προσομοιωθεί σε πανομοιότυπες συνθήκες. Στα Σχήμα 7.3.11 περίπτωση α και β, δείχνουν τα αποτελέσματα που



ελήφθησαν κατά την προσομοίωση του πρώτου αλγορίθμου (minimization of the daily consumption amplitude), ο οποίος σχετίζεται με την ελαχιστοποίηση του εύρους της ημερήσιας κατανάλωσης σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Η λειτουργία χωρίς συσκευές έχει περιοριστεί σε αυτήν την προσομοίωση όπου, ( $v_{ih} = 1$  για τις προγραμματιζόμενες τόσο των μη όσο και των διακοπτόμενων συσκευών. Το σύνολο δεδομένων των 24 ωρών παρουσιάζει μια αύξηση της περιόδου αιχμής της ζήτησης κατά τις απογευματινές ώρες όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.3.11 α, η οποία μπορεί να μειωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης (minimization of the daily consumption amplitude), επιτυγχάνοντας το ανάλογο αποτέλεσμα που αναδεικνύεται στο Σχήμα 7.3.11 β. Όπου N, SW, SI αναφέρεται σε: Non-programmable (N), δηλαδή Μη προγραμματιζόμενες συσκευές, Programmable or Shiftable Without interruption (SW), δηλαδή προγραμματιζόμενες ή μετατοπίσιμες χωρίς διακοπή συσκευές και Programmable Shiftable Interruptible (SI), δηλαδή προγραμματιζόμενες μετατοπίσιμες συσκευές με διακοπή (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.11. Συνολική κατανάλωση σε επίπεδο κοινότητας πριν περίπτωση α, και μετά την βελτιστοποίηση περίπτωση β, σε ένα σύνολο δεδομένων 24ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση του εύρους της ημερήσιας κατανάλωσης της ενέργειας, είναι αρκετά ικανοποιητικός σε σχέση με αυτήν την μείωση, επίσης προσβλέπει σε αύξηση του ((Flattening Index, (FI)), δηλαδή του δείκτη μείωσης, ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση μεταξύ της μέσης τιμής

κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας προς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης της ενέργειας, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχεται από 0,39 σε 0,91. Ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio. (PAR)), δηλαδή ο λόγος κορυφής αιχμής της ισχύς προς τον μέσο όρο της ισχύς, από την άλλη πλευρά, μειώθηκε από 6,46 σε 1,20. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης άλλαξε όλες τις προγραμματιζόμενες συσκευές, ανεξάρτητα από το σπίτι στο οποίο ανήκουν. Παρόλο που ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δεν λαμβάνει υπόψη του την βελτιστοποίηση πληρωμής, δηλαδή την οικονομική απόσβεση, απεναντίας τα αποτελέσματα δείχνουν αυτό το κέρδος μέσω της απόσβεσης που γίνεται από την μείωση που αφορά την πληρωμή κατά την επιβολή των τιμολογίων ((Time of Use, (ToU)), που περιγράφονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15. Κομμάτι πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών τόσο με εφαρμογή τυπικού τιμολογίου όσο και με εφαρμογή διαφορετικών τιμολογίων ((Time of Use, (ToU)).

	Standard Tarrif	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the initial dataset, per day	48.95	50.27	51.80	53.34	54.88
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.84	47.44	47.03	46.63
Gain (%) obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per day	0	4.83	8.43	11.83	15.04
Gain (%) obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0	-2.69	-5.83	-8.98	-12.12
Gain (%) obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0	2.26	3.09	3.92	4.74

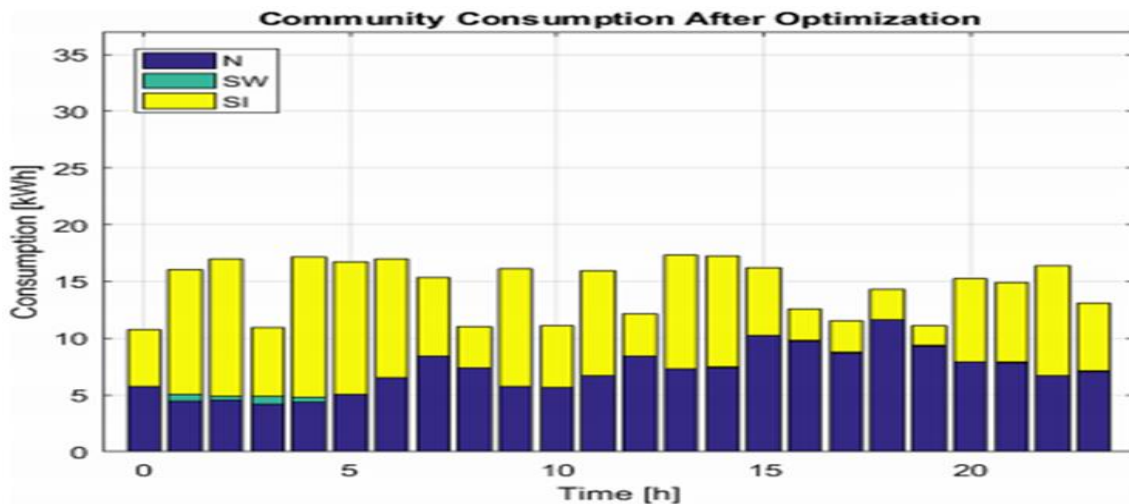
Source: (Oprea et al., 2019).

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Πίνακα 15, τα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), T1 έως T4 αυξάνουν την πληρωμή σε επίπεδο κοινότητας έως και 12%, λόγω της υψηλής απογευματινής αιχμής της ζήτησης, δηλαδή όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι πιο ακριβή. Η μετατόπιση του ωριαίου φορτίου κορυφής της αιχμής κατανάλωσης της ενέργειας σε περίοδο ωρών, όπου εμφανίζεται λιγότερη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της εφαρμογής του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, θα μειώσει αυτό το ποσοστό πληρωμής έως και 15%, όταν εφαρμόζεται ένα ακραίο τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)), όπως αποτελεί η περίπτωση εφαρμογής του ((Time of Use, (ToU)) τιμολογίου T4. Σε σύγκριση τώρα μεταξύ του τυπικού τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)), του οποίου η τιμή

κυμαίνεται στα 14,1 σεντ/kWh, το κέρδος πληρωμής όταν χρησιμοποιείται το ακραίο τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)), T4 ανέρχεται στο 4,74%.

Φυσικά, ο περιορισμός της λειτουργίας οποιασδήποτε συσκευής σε επίπεδο κοινότητας δεν αποτελεί στην αλήθεια πραγματικό σενάριο, επειδή οι πελάτες θα μπορούσαν να έρθουν με μια σειρά προτιμήσεων. Ωστόσο, μια πολύ καλή μείωση της καμπύλης κατανάλωσης δεν αποτελεί στόχο του καταναλωτή, αλλά αντίθετα του προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς ένας συμβιβασμός μεταξύ της βελτιστοποίησης της κατανάλωσης και της μείωσης της πληρωμής θα ήταν επωφελής και για τις δύο πλευρές. Χωρίς κάποια σχετική γνώση με τις τεχνικές προδιαγραφές των προγραμματιζόμενων συσκευών, ένα πλαίσιο περιορισμού της κατάστασης με ποσοστό περίπου 20% μείωσης των ωρών, που ανέρχεται περίπου σε 5 ώρες την ημέρα, έχουν ληφθεί υπόψη για όλες τις προσομοιώσεις που γίνονται στην συνέχεια. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη εξοικονόμηση, ο περιορισμός των ωρών συμπυκνώνεται μέσα στα χρονικά διαστήματα της ημέρας και συγκεκριμένα μεταξύ 8:00 και 22:59.

Το Σχήμα 7.3.12 απεικονίζει τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατόπιν σχετικής προσομοίωσης που εφαρμόστηκε για ολόκληρη την κατανάλωση σε επίπεδο κοινότητας, έχοντας το ίδιο σύνολο δεδομένων των 24 ωρών. Ο δείκτης ((Flattening Index, (FI)), δηλαδή ο δείκτη μείωσης, ο οποίος όπως έχουμε προαναφέρει υπολογίζεται από την σχέση μεταξύ της μέσης τιμής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας προς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης της ενέργειας και στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι μικρότερος και ανέρχεται σε  $FI = 0,83$ , παράλληλα όμως εξακολουθεί να είναι πολύ καλός σε σχέση με την μείωση της κορυφής κατανάλωσης της ενέργειας. Από την άλλη πλευρά ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), δηλαδή ο λόγος κορυφής αιχμής της ισχύς προς τον μέσο όρο της ισχύς, σε αυτήν την περίπτωση ανέρχεται σε 1,44 (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.12. Συνολική κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης με κατά προσέγγιση 20% περιορισμού των ωρών σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).

Η πληρωμή που σχετίζεται με ολόκληρη την κοινότητα μετά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης είναι ακόμη και έως και 17,5% χαμηλότερη, όταν επιβάλλεται το πιο ακραίο τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4 και έως 7,5% σε σύγκριση με το τυπικό τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 16.

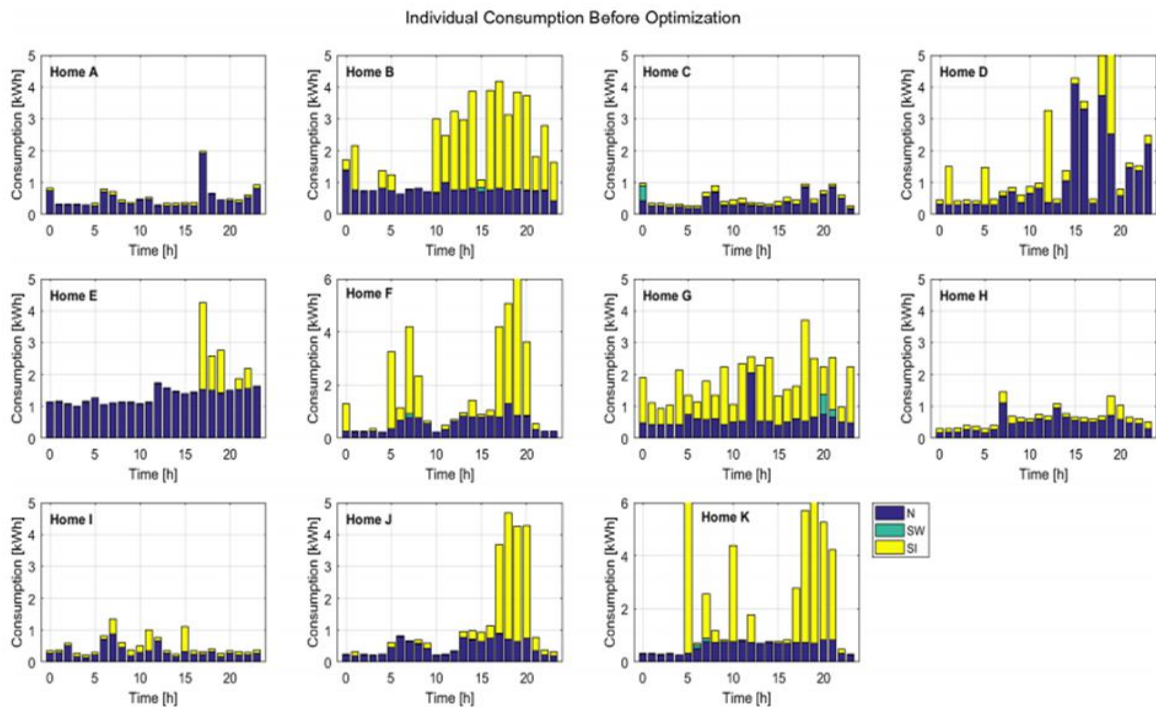
Πίνακας 16. Πληρωμή σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών εφαρμόζοντας τυπικό τιμολόγιο και διαφορετικά τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)) και περίπου ένα 20% περιορισμό των ωρών.

	ToU Tariff Standard	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the initial dataset, per day	48.95	50.27	51.80	53.34	54.88
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.47	46.74	46.02	45.29
Gain (%) obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per day	0.00	5.56	9.77	13.73	17.47
Gain (%) obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	-2.69	-5.83	-8.98	-12.12
Gain (%) obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	3.02	4.50	5.99	7.47

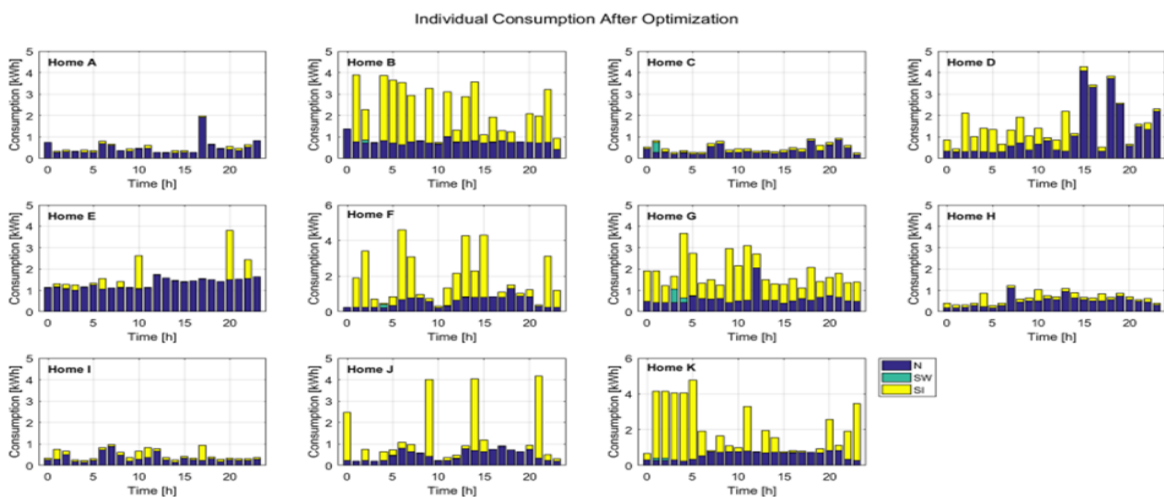
Source: (Oprea et al., 2019).

Επιπλέον τα Σχήματα 7.3.13 και 7.3.14 αναδεικνύουν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε σπίτι εντός της κοινότητας, πριν και μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης. Η μείωση της κορυφής κατανάλωσης της ενέργειας δεν είναι σημαντική σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς εξαρτάται από την ευελιξία του κάθε σπιτιού,

αλλά αυτό συμβαίνει επειδή ο αλγόριθμος εφαρμόζει βελτιστοποίηση σε σχέση με την κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας και όχι σε επίπεδο περιπτώσεων μεμονωμένων σπιτιών.



Σχήμα 7.3.13. Συνολική κατανάλωση μεμονωμένων κατοικιών πριν από την εφαρμογή βελτιστοποίησης σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.14. Συνολική κατανάλωση μεμονωμένων κατοικιών μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).

Τώρα σε ότι έχει να κάνει με την ατομική πληρωμή των σπιτιών, ο Πίνακας 17 αποτυπώνει την αξιολόγηση κατόπιν εφαρμογής: α) Τυπικού τιμολογίου και β) ενός πιο

ακραίου τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4, για τον λόγο ότι μπορεί να αποφέρει υψηλότερα κέρδη. Τόσο τα κέρδη όσο και η κατανάλωση μεταξύ των σπιτιών εμφανίζουν διαφορές, οι οποίες μπορούν να φτάσουν έως και το 33,5% μετά την εφαρμογή της βελτιστοποίησης, επίσης κατά την εφαρμογή του τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4 το κέρδος αυτό ανέρχεται περίπου στο 20%, όπου μετά το πέρας της βελτιστοποίησης συγκρίνεται με τις τιμές του συμβατικού τιμολόγιο (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 17. Ατομικά στοιχεία πληρωμής των σπιτιών μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών με εφαρμογή τόσο τυπικών όσο και τιμολογίων ((Time of Use, (ToU)) T4.

	Payment [€] of the initial dataset based on <i>standard tariff</i> , per day	Payment [€] of the initial dataset based on <i>T4 ToU tariff</i> , per day	Payment [€] of the optimized dataset based on <i>T4 ToU tariff</i> , per day	Gain [%] obtained through optimization, relative to the <i>T4 ToU tariff</i> , per day	Gain [%] obtained without optimization, relative to the <i>standard tariff</i> , per day	Gain [%] obtained through optimization, relative to the <i>standard tariff</i> , per day
Home A	1.86	2.14	2.15	-0.05	-15.45	-15.50
Home B	7.41	8.05	6.41	20.34	-8.52	13.55
Home C	1.74	1.77	1.76	0.79	-1.60	-0.80
Home D	5.60	6.07	5.67	6.46	-8.33	-1.33
Home E	5.35	6.12	5.11	16.46	-14.25	4.56
Home F	5.94	7.23	5.35	26.05	-21.82	9.91
Home G	6.27	6.45	5.77	10.46	-2.79	7.97
Home H	2.24	2.17	2.22	-2.22	3.27	1.12
Home I	1.69	1.52	1.68	-10.47	10.04	0.62
Home J	3.93	5.48	3.64	33.53	-39.48	7.29
Home K	6.92	7.89	5.54	29.80	-14.14	19.87
Total	48.95	54.88	45.29			

Source: (Oprea et al., 2019).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που αποτυπώνονται στον Πίνακα 17, υπάρχουν επίσης σπίτια τα οποία φαίνεται να μην έχουν κανένα όφελος από την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης, όπως π.χ. είναι τα σπίτια A, C, D, H και I. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, αλλά αντίθετα είναι αποτέλεσμα του τρόπου με τον οποίο έχουν επιλεγεί τα σύνολα των δεδομένων.

1. Το συνολικό ποσοστό που αναφέρεται στο κομμάτι της πληρωμής / κατανάλωσης αυτών των σπιτιών, είναι σημαντικά χαμηλότερο από εκείνο των άλλων σπιτιών A, C, H, I, εκτός από το D.
2. Δεν είναι πολύ ευέλικτα διότι η κατανάλωση των μη προγραμματιζόμενων συσκευών είναι υψηλότερη από την κατανάλωση των προγραμματιζόμενων.

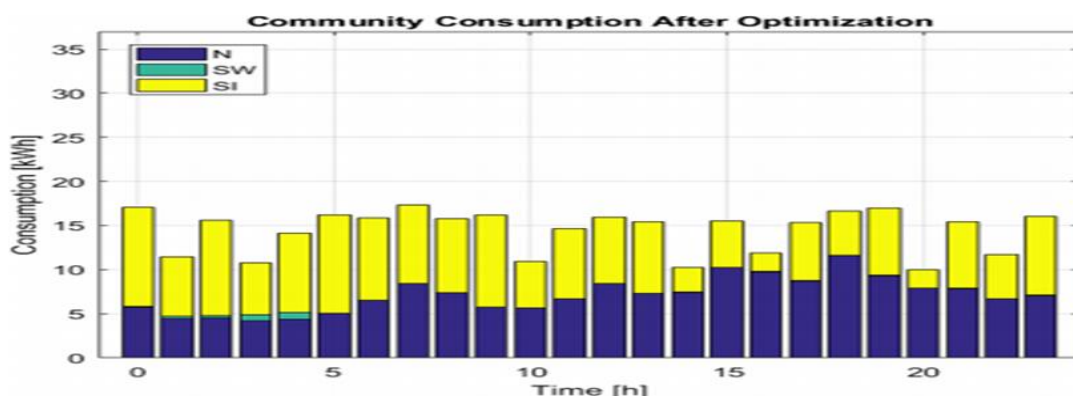
Αυτά τα σπίτια θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη περίπτωση υπό την έννοια ότι έχουν υψηλότερη κατανάλωση σε άλλες ημέρες του έτους, ή την πιθανότητα οι αισθητήρες αλλά και οι έξυπνοι μετρητές να είναι εγκατεστημένοι σε ένα



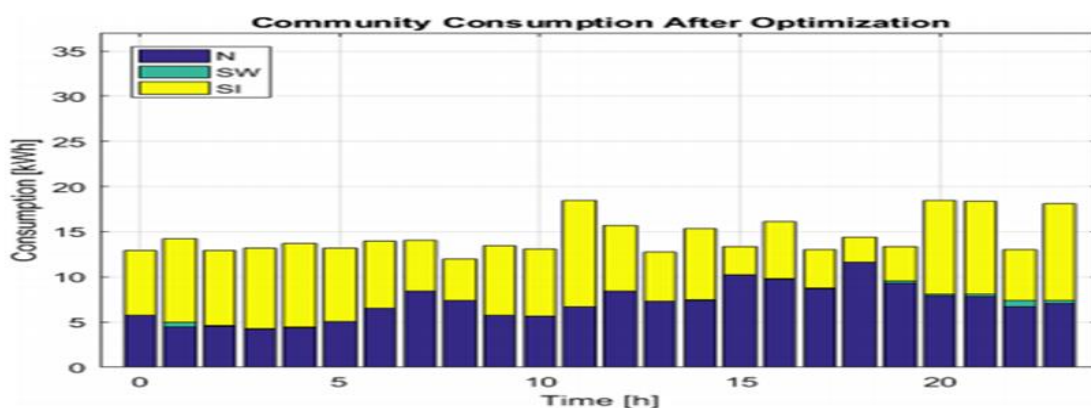
μέρος των υπάρχουσών συσκευών. Αυτά τα προφίλ κατανάλωσης δεν θεωρούνται κατάλληλα για βελτιστοποίηση και μπορούν να εξαλειφθούν από το σύνολο δεδομένων.

Οι άλλοι τρεις αλγόριθμοι βελτιστοποίησης δίνουν παρόμοια αποτελέσματα, τόσο σε ότι έχει να κάνει με το κομμάτι της μείωσης της κορυφής κατανάλωσης το οποίο αποτυπώνεται στα Σχήματα 7.3.15, 7.3.16 και 7.3.17 όσο και με το κομμάτι που αναφέρεται στην πληρωμή και αναδεικνύεται στους Πίνακες 18, 19 και 20.

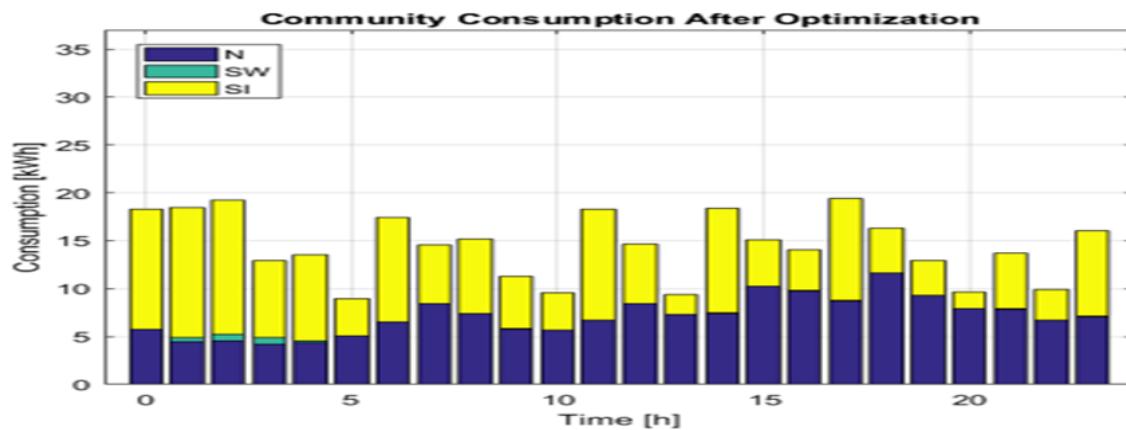
- Min/max consumption: ((Flattening Index, (FI)) = 0.83 and ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)) = 1.44;
- Max/min consumption: ((Flattening Index, (FI)) = 0.78 and ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)) = 1.63;
- Dispersion minimization: ((Flattening Index, (FI)) = 0.74 and ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)) = 1.81.



Σχήμα 7.3.15. Συνολική κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης μέσω του αλγορίθμου ελάχιστης / μέγιστης κατανάλωσης σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.16. Συνολική κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης μέσω του αλγορίθμου μέγιστης / ελάχιστης κατανάλωσης σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.17. Συνολική κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας μετά την εφαρμογή βελτιστοποίησης μέσω του αλγορίθμου ελαχιστοποίησης της αιχμής σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 18. Κομμάτι πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών για εφαρμογή αλγορίθμου ελάχιστης /μέγιστης κατανάλωσης της ενέργειας.

	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the initial dataset, per day	48.95	50.27	51.80	53.34	54.88
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.83	47.50	47.17	46.84
Gain (%) obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per day	0.00	4.84	8.30	11.57	14.65
Gain (%) obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	-2.69	-5.83	-8.98	-12.12
Gain (%) obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	2.28	2.96	3.63	4.30

Source: (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 19. Κομμάτι πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών για εφαρμογή αλγορίθμου μέγιστης /ελάχιστης κατανάλωσης της ενέργειας.

	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the initial dataset, per day	48.95	50.27	51.80	53.34	54.88
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.72	47.13	46.55	45.96
Gain (%) obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per day	0.00	5.06	9.01	12.74	16.25
Gain (%) obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	-2.69	-5.83	-8.98	-12.12
Gain (%) obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	2.51	3.71	4.90	6.10

Source: (Oprea et al., 2019).

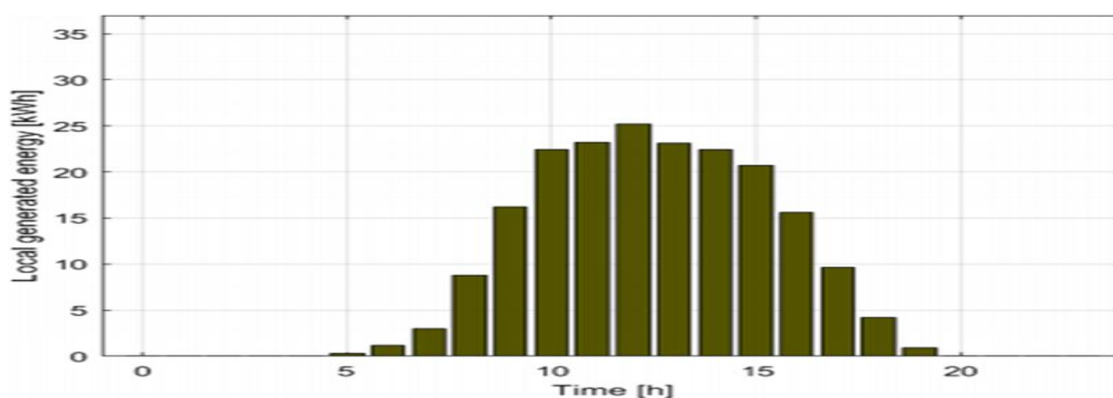


Πίνακας 20. Κομμάτι πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών για εφαρμογή αλγορίθμου ελαχιστοποίησης της αιχμής.

	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the initial dataset, per day	48.95	50.27	51.80	53.34	54.88
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.96	47.84	47.73	47.62
Gain (%) obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per day	0.00	4.60	7.64	10.52	13.23
Gain (%) obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	-2.69	-5.83	-8.98	-12.12
Gain (%) obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per day	0.00	2.03	2.26	2.48	2.71

Source: (Oprea et al., 2019).

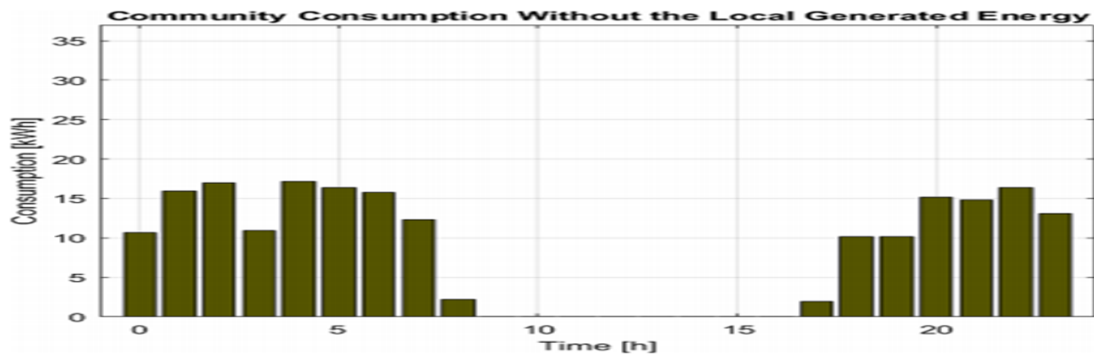
Επιπλέον αυτή η κοινότητα των 11 σπιτιών διαθέτει επίσης 8 συστήματα φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στις στέγες των κατοικιών, οι οποίες που θα μπορούσαν να καταστούν χρήσιμες για την περαιτέρω μείωση του κομματιού που σχετίζεται με την πληρωμή σε επίπεδο κοινότητας πρώτα, επειδή οι καταναλωτές θα χρειαστούν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο και δεύτερον, για το λόγο ότι το παραγόμενο πλεόνασμα που θα προέκυπτε από την χρήση των Φ/Β στοιχείων, θα μπορούσε να προσφερθεί στα άλλα σπίτια στην κοινότητα σε χαμηλότερη τιμή. Η τοπική παραγόμενη ενέργεια ((locally generated energy, (LGE)), η οποία προκύπτει στις 24 ώρες που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως για την προσομοίωση ανέρχεται στα 197,21 kW και έχει μέγιστη τιμή κατά την μεσημεριανή περίοδο του όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 7.3.18 που ακολουθεί.



Σχήμα 7.3.18. Διάγραμμα απεικόνισης τοπικής παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 24 ωρών. Source: (Oprea et al., 2019).

Επομένως, έχει καταστεί πλέον σημαντικό να χρησιμοποιείται η τοπική παραγόμενη ενέργεια ((locally generated energy, (LGE)), μετά την διαδικασία της βελτιστοποίησης, επειδή η μέγιστη κατανάλωση λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της απογευματινής περιόδου όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 7.3.11α κατά την διάρκεια μηδενικής παραγωγής ή μερικής. Κάθε καταναλωτής καταναλώνει πρώτα την δική του παραγόμενη ενέργεια, από την άλλη πλευρά όμως όταν θα προκύπτουν δυνατότητες μεγαλύτερης παραγωγικής ενεργειακής ευελιξίας αυτή θα μπορεί να διοχετεύεται και να μοιράζεται με τα υπόλοιπα σπίτια εντός της κοινότητας. Σε επίπεδο κοινότητας θα πρέπει θεσμοθετηθεί ως πρωταρχικός στόχος να καταναλώνεται όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητας ενέργειας η οποία προέρχεται από τοπική παραγωγή ((locally generated energy, (LGE)), και συγκεκριμένα στην περίπτωση μας από την χρήση και λειτουργία των Φ/Β στοιχείων, των οποίων η παραγόμενη ενέργεια είναι φθηνότερη. Για την προσομοίωση, η τιμή των 9 σεντ/kWh, έχει ληφθεί υπόψη για την πλεονάζουσα ενέργεια, την ίδια τιμή με την νυχτερινή τιμή του η οποία εμφανίζεται κατά την εφαρμογή του πιο ακραίου τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)), T4. (Oprea et al., 2019).

Στο Σχήμα 7.3.19 αποτυπώνεται η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο μετά την χρήση της τοπικής παραγόμενης ενέργειας ((locally generated energy, (LGE)), από την χρήση των Φ/Β στοιχείων, όπου εν συνεχεία το όποιο πλεόνασμα διανέμεται μεταξύ των σπιτιών σε επίπεδο κοινότητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια ανέρχεται στα 347,15 kW, όπως έχει αποδοθεί σύμφωνα με το Σχήμα 7.3.12 καθώς και ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια από το δίκτυο μετά την χρησιμοποίηση του πλεονάσματος το οποίο ανέρχεται στα 200,16 kW, η κοινότητα έχει καταναλώσει μόνο το 74,5%, το οποίο αντιστοιχεί σε 146,99 kW της πλεονάζουσας ενέργειας, ενώ 25,5% το οποίο ανέρχεται σε 50,22 kW μεταδίδεται στο δίκτυο.



Σχήμα 7.3.19. Ποσότητα ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο σε 24ωρη βάση, μετά το πέρας της κατανομής της πλεονάζουσας ενέργειας. Source: (Oprea et al., 2019).

Τώρα σε ότι έχει να κάνει με το κομμάτι της πληρωμής, το ποσοστό των ωφέλιμων κερδών παρουσιάζουν συνέπεια κατά την χρήση της πλεονάζουσας ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας, φτάνοντας σε ποσοστό έως και περίπου το 25%, όταν εφαρμόζεται το τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4, σε σχέση με το αντίστοιχο τυπικό τιμολόγιο όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 21. Σε αυτήν την περίπτωση, κανένα σπίτι δεν καταγράφει απώλειες τιμολογίων, ανεξάρτητα από το τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)), όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 22. Επίσης δεν έχει καταγραφεί κέρδος που να είναι μικρότερο από 12,81%, ανεξάρτητα από την σημασία της ατομικής κατανάλωσης ή την όποια ευελιξία για βελτιστοποίηση. Ολόκληρη η κοινότητα μπορεί να επωφεληθεί από την πλεονάζουσα ενέργεια, οδηγώντας σε ένα κέρδος της τάξεως έως και του 33%.

Πίνακας 21. Στοιχεία πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών μετά την χρήση της παραγόμενης ποσότητας ενέργειας ((locally generated energy, (LGE)) από την χρήση Φ/Β στοιχείων.

	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the optimized dataset, per day	48.95	47.47	46.74	46.02	45.29
Payment (€) of the optimized dataset using the LGE, per day	41.45	39.39	38.53	37.66	36.80
Gain (%) obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff, per day	15.31	17.02	17.58	18.16	18.75
Gain (%) obtained using the LGE, relative to the standard tariff, per day	15.31	19.53	21.29	23.06	24.82

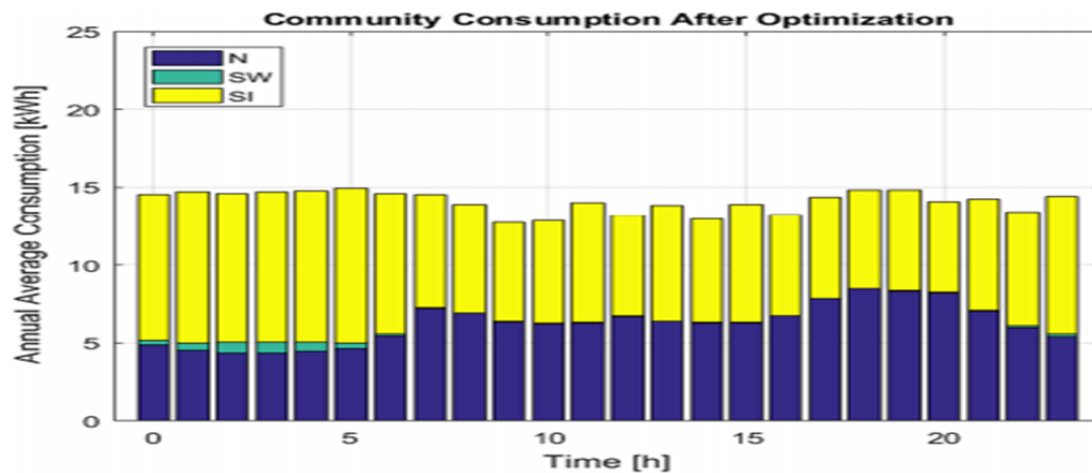
Source: (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 22. Στοιχεία μεμονωμένης – ατομικής πληρωμής σε ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών μετά το πέρας της κοινής χρήσης της πλεονάζουσας ενέργειας.

	Payment [€] of the optimized dataset based on <i>standard tariff</i> , per day	Payment [€] of the optimized dataset using LGE based on <i>standard tariff</i> , per day	Payment [€] of the optimized dataset based on <i>T4 tariff</i> , per day	Payment [€] of the optimized dataset using LGE based on <i>T4 tariff</i> , per day	Gain [%] obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff (for <i>standard tariff</i> ), per day	Gain [%] obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff (for <i>T4 tariff</i> ), per day	Gain [%] obtained using the LGE based on <i>T4 tariff</i> , relative to the <i>standard tariff</i> , per day
Home A	1.86	1.60	2.15	1.57	13.59	26.79	15.44
Home B	7.41	6.41	6.41	5.43	13.48	15.23	26.72
Home C	1.74	1.52	1.76	1.47	12.81	15.99	15.32
Home D	5.60	4.61	5.67	4.65	17.66	18.08	16.99
Home E	5.35	4.60	5.11	4.25	14.12	16.89	20.68
Home F	5.94	4.91	5.35	4.19	17.28	21.61	29.38
Home G	6.27	5.33	5.77	4.84	15.02	16.05	22.74
Home H	2.24	1.86	2.22	1.77	17.13	20.23	21.12
Home I	1.69	1.41	1.68	1.27	16.24	24.15	24.62
Home J	3.93	3.10	3.64	2.71	21.10	25.47	30.90
Home K	6.92	6.09	5.54	4.63	11.89	16.41	33.02
Total	48.95	41.45	45.29	36.80			

Source: (Oprea et al., 2019).

Σε αυτό το σημείο για περαιτέρω διερεύνηση της μείωσης του ποσοστού της μέγιστης αιχμής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν εφαρμοστεί σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους. Έχει εφαρμοστεί το ίδιο πλαίσιο περιορισμών και συγκεκριμένα ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων ωρών έχει μειωθεί κατά 20%. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, με τον δείκτη μείωσης ((Flattening Index, (FI)), ο οποίος ορίζεται ως η σχέση μεταξύ της μέσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας προς την peak τιμή ή αλλιώς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης, στην συγκεκριμένη περίπτωση σε σχέση με την συνολική κατανάλωση σε επίπεδο κοινότητας αυξάνεται από το 0,67 το οποίο αντιστοιχεί στο αρχικό σύνολο δεδομένων ενός έτους του Σχήματος 7.3.8 σε 0,94 το οποίο αντιστοιχεί στο βελτιστοποιημένο σύνολο δεδομένων ενός έτους όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 7.3.20. Επίσης, ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), ο οποίος ορίζεται ως η σχέση μεταξύ της μέγιστης τιμής κατανάλωσης (peak), προς την μέση τιμή κατανάλωσης, μειώθηκε από 2,25 σε 1,13. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν εκφράζονται ως ετήσια ωριαία μέση κατανάλωση.



Σχήμα 7.3.20. Συνολική κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας μετά το πέρας της μεθόδου βελτιστοποίησης σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους. Source: (Oprea et al., 2019).

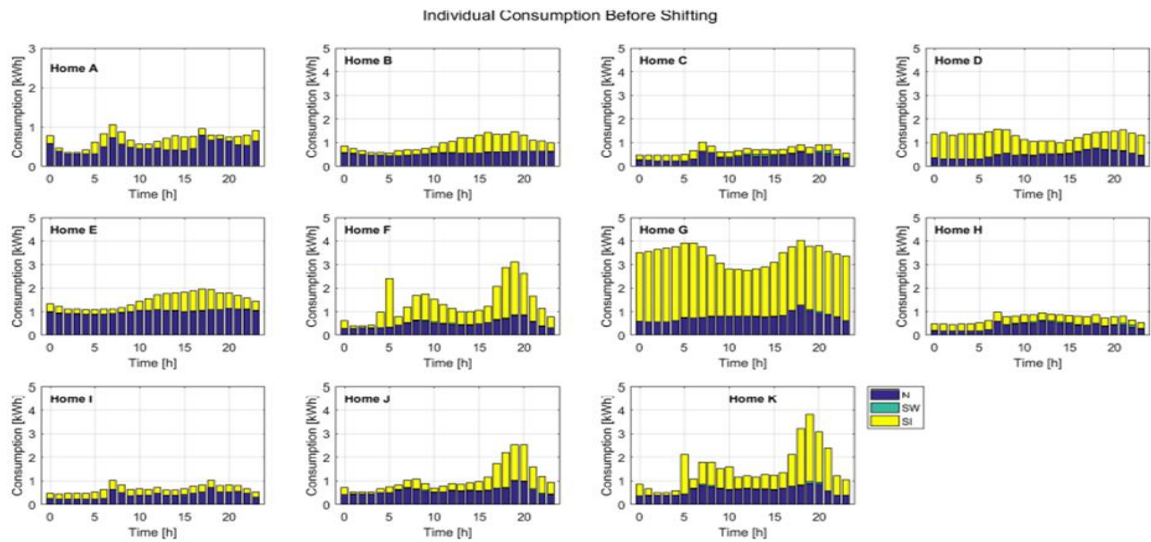
Τα ετήσια μέσα κέρδη είναι χαμηλότερα, με μέγιστο 6,65% κατά την εφαρμογή του τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)) T4, όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 23, ενώ θα μπορούσαν να βελτιωθούν με την αλλαγή του πλαισίου περιορισμών της κατάστασης και στοχεύοντας σε χαμηλότερο, αλλά αποδεκτό επίπεδο μείωσης της κορυφής της αιχμής κατανάλωσης της ενέργειας. (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 23. Η κοινοτική πληρωμή σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους με διαφορετικά τιμολόγια ((Time of Use, (ToU))).

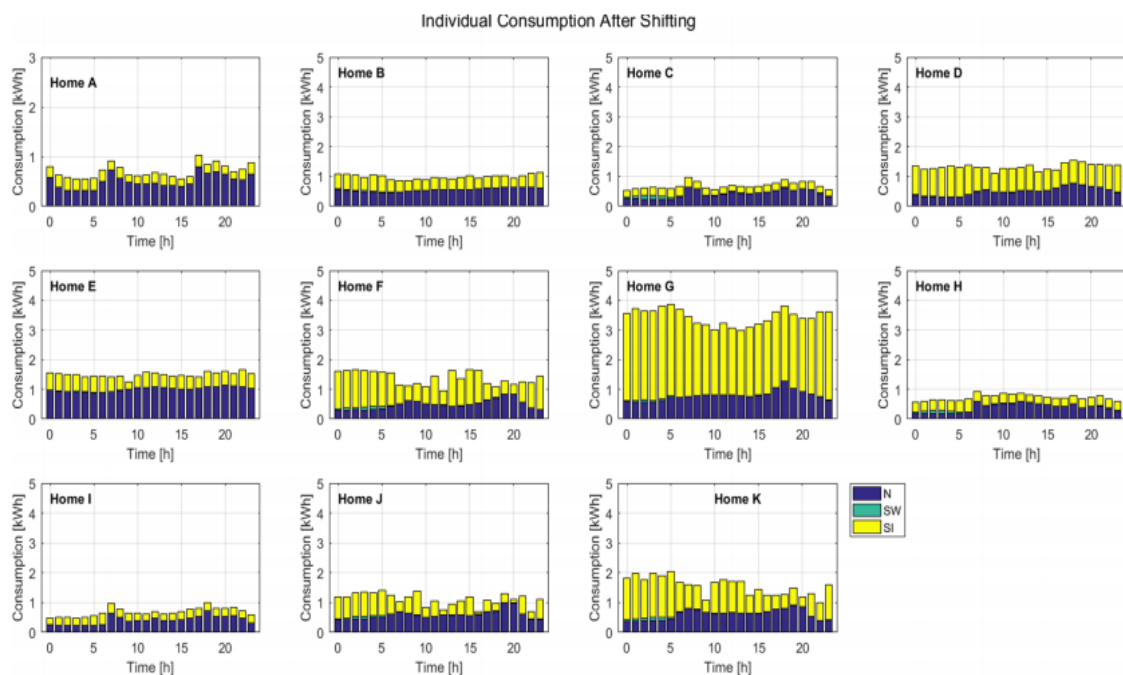
	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment [€] of the initial dataset, per year	16,634	16,570	16,663	16,756	16,849
Payment [€] of the optimized dataset, per year	16,634	16,207	16,047	15,888	15,729
Gain [%] obtained through optimization, relative to the actual ToU tariff, per year	0.00	2.19	3.69	5.18	6.65
Gain [%] obtained without optimization, relative to the standard ToU tariff, per year	0.00	0.39	-0.17	-0.73	-1.29
Gain [%] obtained through optimization, relative to the standard ToU tariff, per year	0.00	2.57	3.53	4.49	5.44

Source: (Oprea et al., 2019).

Τα Σχήματα 7.3.21 και 7.3.22 απεικονίζουν μεμονωμένα το ετήσιο προφίλ κατανάλωσης του κάθε σπιτιού καθώς και τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης.



Σχήμα 7.3.21. Συνολική κατανάλωση των κατοικιών μεμονωμένα πριν την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης σε ένα ετήσιο σύνολο δεδομένων. Source: (Oprea et al., 2019).



Σχήμα 7.3.22. Συνολική κατανάλωση των κατοικιών μεμονωμένα μετά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης σε ένα ετήσιο σύνολο δεδομένων. Source: (Oprea et al., 2019).

Στην συνέχεια επιβάλλοντας ένα ακραίο τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)), η βελτιστοποίηση μπορεί να αποφέρει κέρδη τα οποία μπορούν να φτάσουν έως και το 17%, όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 24. (Oprea et al., 2019).

Πίνακας 24. Στοιχεία μεμονωμένης πληρωμή των σπιτιών σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους, εφαρμογής τόσο με τυπικών όσο και τιμολογίων ((Time of Use, (ToU)) T4.

	Payment (€) of the initial dataset based on <i>standard tariff</i> , per day	Payment (€) of the initial dataset based on <i>T4 tariff</i> , per day	Payment (€) of the optimized dataset based on <i>T4 tariff</i> , per day	Gain [%] obtained through optimization, relative to the <i>T4 tariff</i> , per day	Gain [%] obtained without optimization, relative to the <i>standard tariff</i> , per day	Gain [%] obtained through optimization, relative to the <i>standard tariff</i> , per day
Home A	835	826	831	-0.67	1.17	0.50
Home B	1163	1195	1099	8.03	-2.74	5.52
Home C	819	819	804	1.83	0.03	1.85
Home D	1566	1482	1510	-1.84	5.35	3.61
Home E	1760	1777	1668	6.13	-0.98	5.20
Home F	1631	1787	1478	17.30	-9.57	9.39
Home G	4066	3892	3861	0.80	4.28	5.04
Home H	854	842	818	2.90	1.32	4.18
Home I	801	814	807	0.89	-1.66	-0.6
Home J	1308	1431	1207	15.65	-9.36	7.76
Home K	1831	1984	1646	17.04	-8.36	10.10
Total	16,634	16,849	15,729			

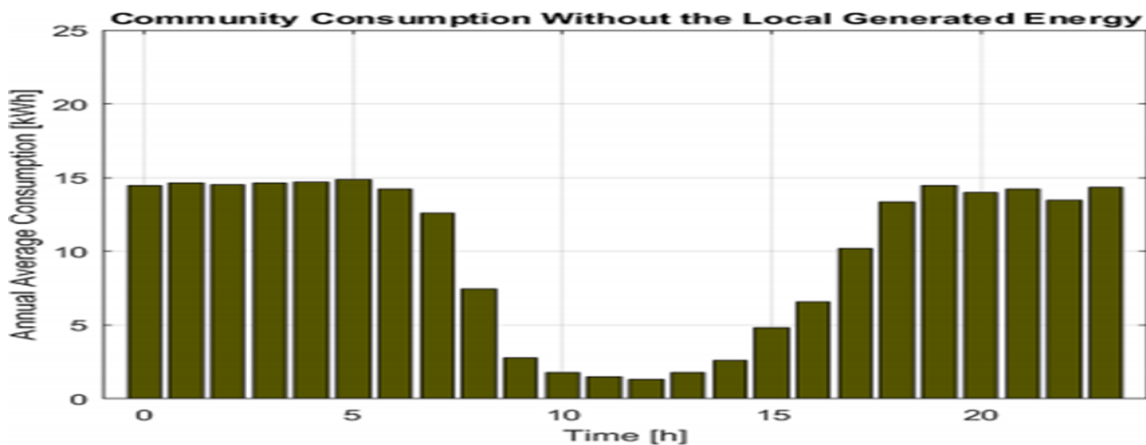
Source: (Oprea et al., 2019).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 24, προκύπτει ότι υπάρχουν ακόμη σπίτια που δεν επωφελούνται από την μέθοδο της βελτιστοποίησης, όπως είναι τα σπίτια A, D και I. Τα σπίτια A και I δεν είναι πολύ ευέλικτα και επομένως δεν είναι τόσο κατάλληλα για βελτιστοποίηση. Για να βελτιωθεί το αποτέλεσμα αυτού του είδους των προφίλ κατανάλωσης αυτών των σπιτιών, το πλαίσιο περιορισμού της κατάστασης μπορεί να επανασχεδιαστεί ειδικά για αυτά τα σπίτια και επίσης μπορούν επιπρόσθετα να εφαρμοστούν νέες συνθήκες στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, όπως π.χ. η μετατόπιση της κατανάλωσης μόνο στην περίπτωση που φέρνει θετικό κέρδος, ή εξαλείφοντας το συγκεκριμένο σπίτι από την διαδικασία της βελτιστοποίησης στηρίζοντας παράλληλα τα άλλα σπίτια για την μείωση της κορυφής της αιχμής κατανάλωσης της ενέργειας.

Ωστόσο, η τοπική παραγόμενη ενέργεια, η οποία στην περίπτωση μας προέρχεται από την χρήση Φ/Β στοιχείων ((locally generated energy, (LGE)), προσφέρει σταθερή εξοικονόμηση για ολόκληρη την κοινότητα όπως αποτυπώνεται στους Πίνακες 25 και 26. 48824,04 kW έχουν παραχθεί από τα 8 συστήματα φωτοβολταϊκής οροφής σε ένα έτος και συγκεκριμένα μέσα σε 349 ημέρες επειδή ορισμένοι μετρητές σταματούν να καταγράφουν στις 15 Δεκεμβρίου. Η συνολική κατανάλωση σε επίπεδο κοινότητας για ένα έτος ανέρχεται στα 117971,97 kW, ενώ η συνολική απαιτούμενη ενέργεια από το δίκτυο μετά από την χρήση της παραγόμενης ενέργειας ανέρχεται στα 83475,69 όπως και αποτυπώνεται στο Σχήμα 7.3.23, με αποτέλεσμα τα 14327,77 kW, τα οποία



αντιστοιχούν σε ποσοστό 29,35% της πλεονάζουσας ενέργειας που προκύπτει λόγω της τοπικής παραγόμενης ενέργειας μέσω της χρήσης των Φ/Β στοιχείων να εισχωρούν στο δίκτυο.



Σχήμα 7.3.23. Ποσότητα ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο σε ένα χρόνο μετά την κατανομή της πλεονάζουσας ενέργειας. Source: (Oprea et al., 2019).

Οποιοδήποτε τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) αποφέρει εξοικονόμηση, στην περίπτωση που μοιράζεται αυτό το πλεόνασμα ενέργειας, από την άλλη πλευρά το τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4 προσδίδει το υψηλότερο κέρδος σε επίπεδο κοινότητας, το οποίο ανέρχεται σε ποσοστό έως και 15,47% έναντι του τυπικού τιμολόγιου ((Time of Use, (ToU)), το οποίο αναδεικνύεται στον Πίνακα 25. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης όχι μόνο ελαχιστοποιούν την αιχμή της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά συμβάλουν και στην μείωση των ετήσιων πληρωμών.

Πίνακας 25. Πληρωμή σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους μετά την κοινή χρήση της πλεονάζουσας ενέργειας.

	Standard Tariff	ToU Tariff T1	ToU Tariff T2	ToU Tariff T3	ToU Tariff T4
Payment (€) of the optimized dataset, per day	16,634	16,207	16,047	15,888	15,729
Payment (€) of the optimized dataset using the LGE, per day	14,875	14,384	14,276	14,168	14,060
Gain (%) obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff, per day	10.58	11.24	11.04	10.82	10.61
Gain (%) obtained using the LGE, relative to the standard ToU tariff, per day	10.58	13.53	14.17	14.82	15.47

Source: (Oprea et al., 2019).

Έτσι προκύπτει ότι κάθε σπίτι επωφελείται από αυτήν την πλεονάζουσα ενέργεια με κέρδη τα οποία κυμαίνονται μεταξύ της τάξης του 8,58% και 23,21%, κατά την σύγκριση



μεταξύ του τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)) T4 και του βελτιστοποιημένου συνόλου δεδομένων βάσει του τυπικού τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)), όπως αναδεικνύεται στον Πίνακα 26 που ακολουθεί.

Πίνακας 26. Στοιχεία μεμονωμένης πληρωμής των σπιτιών της κοινότητας σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους κατόπιν της κοινής χρήσης του πλεονάσματος της ενέργειας που προκύπτει.

	Payment [€] of the optimized dataset based on <i>standard tariff</i> , per year	Payment [€] of the optimized dataset using LGE based on <i>standard tariff</i> , per year	Payment [€] of the optimized dataset based on <i>T4 tariff</i> , per year	Payment [€] of the optimized dataset using LGE based on <i>T4 tariff</i> , per year	Gain [%] obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff (for <i>standard tariff</i> ), per year	Gain [%] obtained using LGE, relative to the actual ToU tariff (for <i>T4 tariff</i> ), per year	Gain [%] obtained using the LGE based on <i>T4 tariff</i> , relative to the <i>standard tariff</i> , per year
Home A	835	760	831	759	9.00	8.66	9.12
Home B	1163	1044	1099	990	10.23	9.89	14.86
Home C	819	738	804	729	9.95	9.29	10.97
Home D	1566	1391	1510	1336	11.17	11.48	14.68
Home E	1760	1566	1668	1495	11.03	10.40	15.06
Home F	1631	1421	1478	1259	12.86	14.79	22.79
Home G	4066	3747	3861	3593	7.83	6.94	11.63
Home H	854	755	818	735	11.50	10.17	13.92
Home I	801	719	807	732	10.19	9.27	8.58
Home J	1308	1142	1207	1026	12.75	14.98	21.58
Home K	1831	1592	1646	1406	13.05	14.58	23.21
Total	16,634	14,875	15,729	14,060			

Source: (Oprea et al., 2019).

Σύμφωνα με τις περιπτώσεις και των τεσσάρων αλγορίθμων που έχουν εφαρμοστεί μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους, προκύπτει βάσει των στοιχείων ότι παράγουν παραπλήσια αποτελέσματα. Τα κέρδη θα μπορούσαν να αυξηθούν ακόμη περισσότερο στην περίπτωση της μετατόπισης μεγαλύτερου ποσοστού της κατανάλωσης από τις ακριβές ώρες, δηλαδή τις ώρες της αιχμής της ζήτησης που σημειώνονται κατά τις πρωινές ώρες σε φθηνότερες ώρες, δηλαδή σε ώρες μη αιχμής της ζήτησης και συγκεκριμένα κατά τις νυχτερινές ώρες. Επιπλέον, μια καλύτερη χρήση της ποσότητας της πλεονάζουσας ενέργειας, θα μπορούσε να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα εξοικονόμησης εάν π.χ. εφαρμόζονταν ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας προς εξυπηρέτηση σε επίπεδο κοινότητας.

#### 7.4 Πρόοδος των μοντέλων βελτιστοποίησης σχετικά με το DSM & εφαρμογές των αλγορίθμων

Η εφαρμογή αλγορίθμων μπορούν να λύσουν προβλήματα που σχετίζονται με την βελτιστοποίηση του συστήματος ((Demand Site Management, (DSM)), πάνω στο έξυπνο

δίκτυο ((Smart Grid, (SG)). Αυτά τα προβλήματα βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του κόστους χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, την συνολική κατανάλωση της ενέργειας, την μέγιστη αναλογία ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), δηλαδή του λόγου κορυφής της αιχμής προς τον μέσο όρο, καθώς και την μεγιστοποίηση της άνεσης του χρήστη αλλά και της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των ΑΠΕ. Η παρούσα διπλωματική εργασία κάνει αναφορά στην ανάπτυξη και στην εφαρμογή διαφόρων τύπων αλγορίθμων, συμπεριλαμβανομένων των single και των hybrid, που αναφέρονται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης του συστήματος ((Demand Site Management, (DSM)), στο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)).

Η βελτιστοποίηση ελαχίστου πλήθους ((Particle Swarm Optimization, (PSO)), ο αλγόριθμος θεωρίας παιγνίων ((Game Theory Algorithm, (GTA)), ο γραμμικός προγραμματισμός ((Linear programming, (LP)) αλλά και ο μη γραμμικός προγραμματισμός ((Non Linear programming, (NLP)) και τέλος ο δυναμικός προγραμματισμός ((Dynamic programming, (DP)), αποτελούν τους πιο ευρέως γνωστούς αλγόριθμους στον τομέα του συστήματος ((Demand Site Management, (DSM)). Πρόσφατα, οι υβριδικοί αλγόριθμοι έχουν αποκτήσει αξιοσημείωτη προσοχή ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο. Ο Πίνακας 27 δείχνει τα χαρακτηριστικά αλλά και τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται από διάφορους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)). Αυτή η έρευνα παρέχει μια επισκόπηση σχετικά με την εξέλιξη αλλά και την πρόοδο των διαφορετικών μεθόδων βελτιστοποίησης βάσει των αλγορίθμων για το σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)) (Sarker et al., 2020).

Πίνακας 27 Χαρακτηριστικά αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης Demand Site Management (DSM)

Algorithm type	Algorithm name	Mechanism	User-defined parameters	Characteristics
Metaheuristic and evolutionary algorithm	GA	Inspired by the mechanism of natural selection.	The size of the population of solutions, the number of parents, the probability of crossover, the probability of mutation and the termination criterion.	<p>Genes of chromosome represent the decision variable. This variable contains binary, continuous or discrete values.</p> <p>Genetic operators are responsible for the creation of new solutions.</p> <p>Individual chromosome provides a possible solution and parents provide an old solution while a new solution is provided by offspring. Elite provides the best solution.</p> <p>Population diversity and selective pressure affect the search method.</p> <p>Correction of convergence depends on the selection of a good termination criterion and optimum selective pressure.</p>
	Particle swarm optimization	Inspired by the social behavior of birds flocks.	Size of the population of solutions, the value of the initial inertia weight, the final value of the inertia weight, and the termination criterion.	<p>The decision variable is represented by the particle position in each dimension.</p> <p>The solution of the optimization problem is found by the position of the particle where the position is updated to find a new solution.</p> <p>Fitness function is measured by the distance between particle and food.</p> <p>A number of iterations, selection of good termination criteria, the improvement of the objective function, and the run time of the algorithm determine the confection of convergence.</p>
	ACO	Inspired by the collective and searching behavior of ant species.	The size of the population of solutions, the evaporation rate, the control parameters of pheromone, heuristic information, and the termination criterion.	<p>Decision variables are represented by the path of an ant.</p> <p>In the case of an optimization problem, a possible solution is determined by the tour of an ant from nest to food.</p> <p>Process of generating new solutions is accelerated by the information-based stochastic mechanism.</p>

Πίνακας 27 Χαρακτηριστικά αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης Demand Site Management (DSM) συνέχεια...

Algorithm type	Algorithm name	Mechanism	User-defined parameters	Characteristics
				ACO allocates desirability to the decision space according to the fitness value of a solution.
				Correction of convergence depends on the number of iterations, selection of good termination criteria, the incremental improvement of the objective function, and the run time of the algorithm.
Classical method	LP	Mathematical programming method where the objective function is linear.	The collection of coefficients with respect to decision variable, constraint, upper bound is the parameter of the LP method.	Objective functions are correspondents to a restricted set of constraint. It has a feasible solution and region. The optimal solution can be found. Multiplicity in solutions.
	Non-LP	Mathematical programming with respect to the nonlinear objective function.	Parameters are defined based on the problems	Converting a complex problem into an easy problem. Solving the sequence of sub-problems. Solving of sub-problems are involved with the unconstrained minimization function. The optimal solution can be found.
	DP	Multistage nature of optimization method.	There is no specific parameter. Each problem has its own parameter.	Representing the multistage decision process. For each stage, a policy decision is requested. Solving multivariable optimization problem. In order to determine the optimal solution for the problem, the solution method is categorized. Recursive relation is used to optimize the solution procedure.

Source: (Sarker et al., 2020).

## 7.5 Συγκριτική αναφορά μεταξύ των προσεγγίσεων βελτιστοποίησης

Οι τεχνικές αλλά και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ((Demand Site Management, (DSM))), έχουν ήδη εμφανίσει τεράστιες δυνατότητες βελτίωσης των συστημάτων ισχύος σε σχέση με τον χειρισμό αλλά και τον έλεγχο των φορτίων. Ωστόσο, πολλά ζητήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή τους στο σύστημα ((Demand Site Management, (DSM))), θα πρέπει να επιλυθούν ώστε να βελτιώσουν την συμβολή τους στην καλύτερευση των συστημάτων ισχύος. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες έρευνες δεν βασίζονται σε εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Με την εφαρμογή τόσο των στρατηγικών όσο και των τεχνικών ((Demand Site Management, (DSM))), σε πραγματικό χρόνο, όπως π.χ. είναι το σύστημα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR))), η μετατόπιση του φορτίου αλλά και η περικοπή του φορτίου, θα μπορούν να καθοριστούν για την λειτουργία σε πραγματικό χρόνο στο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid,

(SG)). Η εκτέλεση του συστήματος διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)) σε πραγματικό χρόνο είναι πολύ πιθανή, ειδικά σε μια τεχνητή έξυπνη πλατφόρμα που παρέχεται από ένα σύστημα πολλαπλών παραγόντων.

Επιπλέον, η εφαρμογή αλλά και η χρήση του έξυπνου δικτύου ((Smart Grid, (SG)), απαιτεί κάποια υπολογιστική αποδοτικότητα, η οποία μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα (cloud computing framework). Ο σκοπός της χρήσης ενός cloud υπολογιστικού πλαισίου κατά την εφαρμογή του συστήματος ((Demand Site Management, (DSM)) στο έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)), γίνεται ώστε να επιτευχθεί η διατήρηση του μηχανισμού προγραμματισμού για το πρόγραμμα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), σε πραγματικό χρόνο, για την διασφάλιση της ασφάλειας αλλά και του απορρήτου για το έξυπνο δίκτυο ((Smart Grid, (SG)) και τέλος για την σωστή ανάλυση των δεδομένων.

Αλγόριθμοι όπως π.χ. είναι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης ελαχίστου πλήθους ((Particle Swarm Optimization, (PSO)), ο αλγόριθμος γραμμικού προγραμματισμού ((Linear programming, (LP)) και μη γραμμικού προγραμματισμού ((Non Linear programming, (NLP)) αλλά και ο δυναμικός προγραμματισμός ((Dynamic programming, (DP)), που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης κατά την εφαρμογή συστήματος διαχείρισης της ζήτησης από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)), είναι διαφορετικοί όσον αφορά την απόδοση, την αξιοπιστία και την απλότητα, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 28 (Sarker et al., 2020).

ΠΙΝΑΚΑΣ 28 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διαφόρων αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM))).

Algorithm	Advantages	Disadvantages
GA	The GA is stochastic. It can be easily parallelized to solve problems with multiple solutions as it searches from a population of points and not a single point. GA theory is not complex. For this reason, various discrete and continuous mathematical models and simulations can be easily solved by the GA.	It has the tendency to converge toward the local optima or even arbitrary points rather than the global optimum of the problem. Hence, the GA does not know how to sacrifice short-term fitness to gain longer-term fitness. Sometimes, the GA requires expensive fitness function evaluation to find the optimal solution to complex, high-dimensional, multimodal problems.
PSO	The PSO algorithm is easy to implement, and it solves problems by scattering and optimization. The mathematical calculation of the PSO algorithm is simple. PSO uses heuristic methods with the most successive and maximum efficiency rates. It has a very fast search speed. It optimizes multi-objective problems.	The PSO algorithm easily falls into the local optimum in a high-dimensional space. In the iterative process, PSO has a low convergence rate. Some modification is required because of its conflicting nature.
ACO	ACO has low computational complexity and low computational time. In the case of optimization, it has good adaptability and positive feedback mechanism.	As a result of its many parameters, ACO is not suitable for solving a complex problem.  Its performance can be comparatively lower than that of the GA.
GTA	The GTA is easy to understand.  Mathematically, it determines the best strategy for given conditions and optimizes outcomes.	During the solving of games involving mixed strategies, the GTA causes a complicated large pay-off matrix. Sometimes, all the competitive problems cannot be solved and analyzed by the GTA.
LP	The LP technique develops the quality of decisions and achieves the optimum usage of productive resources. Linear problem optimization is considered as competent for analyzing probability index reliability and economic constraints. It provides a promising and practical solution to problems.	The problem represented by an objective function and other constraints must be in linear form, which is not possible.
NLP method	NLP provides simple operation for complex problems.	The NLP method sometimes involves great computational burden from problems. The numerical approach-based NLP works with several iterations.
DP method	It is a simple and efficient algorithm that helps to achieve global optimum. It is suitable for taking decisions on investment for new systems.	This method has no definite formulation. Each problem must be solved according to its own parameters. It has numbers of recursive functions, which may create confusion in the coding.

Source: (Sarker et al., 2020).

## 7.6 Συμπεράσματα μεταξύ των διαφορετικών αλγορίθμων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7

Σχετικά με τον αλγόριθμο ((Utility-oriented Temporal Association Rules Mining, (UTARM)) μπορούν να ειπωθούν τα εξής: Ο εν λόγω αλγόριθμος αναφέρεται στην συσχέτιση μεταξύ του χρόνου χρήσης αλλά και του είδους της συσκευής, μέσω βέβαια της χρήσης των δεδομένων που προκύπτουν από την χρήση των έξυπνων μετρητών. Η

παραπάνω συσχέτιση αξιολογείται βάσει δύο παραγόντων: Ο πρώτος σχετίζεται με τον χρονικό παράγοντα, όπου αναφέρεται στην ώρα, ενώ αντίστοιχα ο δεύτερος αναφέρεται στον παράγοντα χρησιμότητας, όπου σχετίζεται με την πιθανότητα χρήσης μιας συσκευής κατά την διάρκεια κάποιας ώρας εντός της ημέρας. Τόσο η κατανόηση αλλά όσο και ο σεβασμός των προτιμήσεων των οικιακών καταναλωτών αποτελούν βασικούς παράγοντες τόσο για την απόκτηση της εμπιστοσύνης τους αλλά όσο και για την προώθηση των προγραμμάτων που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Ως εκ τούτου, τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), μπορούν να προσαρμοστούν βάσει αυτών των προτιμήσεων των οικιακών καταναλωτών, ώστε να τους παρακινήσουν στο να χρησιμοποιούν πλέον αποτελεσματικότερα την ενέργεια. Τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται μπορούν να ενσωματωθούν εν συνεχεία στο λεγόμενο οικιακό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)), για τον προγραμματισμό των συσκευών βάσει των εξαγόμενων προτιμήσεων.

Όπως έχει επισημανθεί στο Κεφάλαιο 6 της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), αναπτύσσουν δυναμικές στρατηγικές τιμολόγησης και αναμένουν από τους οικιακούς καταναλωτές να αλλάξουν τα προφίλ κατανάλωσης της ενέργειας τους με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσουν την κατανάλωση τους κατά τις κρίσιμες στιγμές, δηλαδή κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης για ενέργεια. Τα οικιακά συστήματα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)), όπως επίσης έχουμε ήδη αναφέρει σε άλλη ενότητα της διπλωματικής εργασίας, λαμβάνουν δεδομένα από τα βοηθητικά προγράμματα σχετικά με την αναμενόμενη ζήτηση, όπου εν συνεχεία ανταποκρίνονται στα βοηθητικά προγράμματα μέσω της μείωσης της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας κάτω από ένα ορισμένο όριο.

Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του προγραμματισμού των οικιακών συσκευών ρυθμίζοντας τις να λειτουργούν κατά τις ώρες μη αιχμής της ζήτησης. Ωστόσο, αυτό μπορεί να επηρεάσει το επίπεδο άνεσης των οικιακών καταναλωτών και ως συνέπεια να τους αποθαρρύνει να ανταποκριθούν στα προγράμματα ανταπόκρισης στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Αυτό το ζήτημα αντιμετωπίζεται μέσω της παραπάνω έρευνας εξαγόντας, δηλαδή τις προτιμήσεις των οικιακών καταναλωτών ανά κάθε ώρα της ημέρας.

Σύμφωνα με τις εξαγόμενες συσχετίσεις, τα οικιακά συστήματα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)), θα μπορούν να προγραμματίσουν τις οικιακές συσκευές, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος της χρήσης τους έναντι των οικιακών καταναλωτών κατά την στιγμή της ενεργής δράσης. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την οικία 3, δείχνουν ότι οι συσκευές όπως π.χ. είναι ο φορητός υπολογιστής (laptop), αλλά και ο προτζέκτορας (projector), καταγράφονται ως συχνές ενεργές συσκευές την 1η ώρα, ωστόσο βέβαια ο φορητός υπολογιστής έχει υψηλότερη αξία χρησιμότητας σε σχέση με τον projector. Έτσι με αυτόν τον τρόπο στην περίπτωση που τα βοηθητικά προγράμματα θα στείλουν στο οικιακό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)), σήμα για να μειωθεί η ζήτηση, τότε το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)), με την σειρά του θα πρέπει να ανταποκριθεί στα βοηθητικά προγράμματα, δίνοντας προτεραιότητα, βέβαια στην περίπτωση μας δίνεται προτεραιότητα πρώτα στον φορητό υπολογιστή, ώστε να είναι ενεργός και εν συνεχεία στον προβολέα βάσει του παρεχόμενου επιτρεπτού ορίου λειτουργίας.

Σχετικά με τον αλγόριθμο διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), καθώς και την εφαρμογή του στον έξυπνο μετρητή μπορούν να ειπωθούν τα εξής: Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω της διαδικασίας προσομοίωσης αλλά και των εργαστηριακών δοκιμών του εν λόγω αλγορίθμου διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), στον έξυπνο μετρητή αποτυπώνουν ένα κομμάτι αισιοδοξίας ως προς την βελτίωση του ημερήσιου προφίλ του φορτίου σύμφωνα πάντα με τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί. Συγκεκριμένα ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), επιλέχθηκε ως παράγοντας αξιολόγησης της απόδοσης. Όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενο σημείο της εργασίας ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), είναι αποτέλεσμα της τιμής που προκύπτει από τον λόγο κορυφής της αιχμής της ζήτησης προς τον μέσο όρο της ζήτησης. Η μείωση του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), στην παρούσα έρευνα είναι ανάλογη του προφίλ του φορτίου και τα ποσοστά του κυμαίνονται μεταξύ του 15% έως και 54%.

Η μέση τιμή ( $\Delta PAR\%$ ) ανέρχεται στο 30%. Η χρήση του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), δεν επηρεάζει σημαντικά την συνολική αλλαγή στην κατανάλωση της ενέργειας. Στις περισσότερες από τις ευνοϊκές περιπτώσεις, το σύστημα εξοικονομεί  $\Delta E\%$ , δηλαδή η ημερήσια μείωση κατανάλωσης



της ενέργειας κυμαίνεται από 0% έως και 15% της ενέργειας. Επίσης η μέση τιμή για τις 10 περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν σε σχέση με την ΔΕ%, δηλαδή την ημερήσια μείωση κατανάλωσης της ενέργειας ανέρχονταν στο 7%. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος απέφερε σημαντική μείωση στην κατανάλωση της ενέργειας κατά τις περιόδους της μέγιστης ζήτησης για ενέργεια (ΔΕρ), εφαρμόζοντας έτσι την λειτουργία μείωσης της κορυφής της αιχμής, αντίθετα σε περιόδους χαμηλότερης κατανάλωσης της ενέργειας, δηλαδή (εκτός αιχμής), όταν παρατηρείται πρόβλημα με την πλεονάζουσα παραγωγική δυνατότητα του συστήματος ισχύος, είναι δυνατή η αύξηση της ζήτησης της ενέργειας μέσω του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας, οδηγώντας σε μια (μετατόπιση της αιχμής).

Σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν ανέδειξαν μια επιτυχή μείωση του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), η οποία ανέρχεται στο 30%, με μια μέση μείωση κατανάλωσης της ενέργειας κατά την περίοδο αιχμής ΔΕρ%, η οποία φτάνει το 34%. Η συνολική κατανάλωση της ενέργειας ΔΕ% μειώθηκε κατά 7%. Επίσης λόγω της γενίκευσης της παρούσας έρευνας, η ασαφής λογική επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή του συστήματος στην συγκεκριμένη εγκατάσταση. Σε ότι αφορά το συγκεκριμένο σύστημα, δύναται η δυνατότητα προσαρμογής χρήσης διαφορετικής ποσότητας ισχύς μέσω της ύπαρξης και χρήσης του Φ/Β στοιχείου, εξίσου διαφορετική μπορεί να είναι τόσο η ποσότητα της αποθήκευσης της ενέργειας καθώς ακόμα και η ποσότητα της ζητούμενης ισχύος. Τα οικονομικά πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή ενέργειας προκύπτουν από την μετατόπιση του φορτίου αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής χρησιμοποιώντας τοπικές μονάδες ΑΠΕ. Επίσης αυτό το γεγονός είναι ευεργετικό για ολόκληρο το σύστημα ισχύος καθώς η μείωση της αιχμής της ζήτησης προσφέρει καλύτερη ισορροπία στο σύστημα ισχύος. Επιπλέον η μείωση των μέγιστων τιμών της ισχύς σημαίνει παράλληλα & ελαχιστοποίηση των απωλειών σε επίπεδο μετάδοσης καθώς και περιορισμό της υπερφόρτωσης του συστήματος υποδομής τόσο κατά το στάδιο μεταφοράς όσο και το στάδιο της διανομής.

Τέλος σημαντικός παράγοντας που σχετίζεται επίσης με τον καθορισμό της απόδοσης του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) και συγκεκριμένα την πιθανή κατάσταση για την χρήση των Φ/Β στοιχείων. Ο αλγόριθμος παρέχει επίσης ανάλογη λειτουργία σε περιόδους κατά τις οποίες η τοπική πηγή ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη. Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, υπάρχει μια

ανισότητα στην αποτελεσματικότητα του συστήματος διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)). Έτσι ο δείκτης ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), ο οποίος υιοθετήθηκε ως ο πρωταρχικός δείκτης της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου αξιολογείται σε εύρος μεταξύ του 15-54%, ενώ αντίστοιχα στην περίπτωση της αξιολόγησης όπου υπάρχει μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας το εύρος κυμαίνεται από 0 έως 15%.

Σε σχέση με τους αλγορίθμους βελτιστοποίησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας για έξυπνα σπίτια μπορούν να ειπωθούν τα εξής: Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης που προτείνονται σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας έχουν σχεδιαστεί για να μειώσουν την καμπύλη κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικημένων περιοχών, αλλά παράλληλα αποτελούν την ερευνητική βάση η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί και να επεκταθεί και για άλλους τύπους καταναλωτών. Υπό αυτήν την προσέγγιση οι αλγόριθμοι θεωρούνται αξιόπιστα εργαλεία βελτιστοποίησης τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν από τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας για να παρέχουν καθημερινά χρονοδιαγράμματα ώστε να προσδιορίσουν την εφαρμογή του πιο κατάλληλου τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)), φέρνοντας έτσι στην επιφάνεια οφέλη τα οποία έχουν αντίκρισμα τόσο στον προμηθευτή όσο στους καταναλωτές.

Για την επίτευξη μείωσης των λογαριασμών του ρεύματος, οι καταναλωτές θα μπορούσαν να ενθαρρυνθούν στο να αλλάξουν το προφίλ κατανάλωσης της ενέργειας τους, ώστε να καταναλώνουν ενέργεια εκτός των ωρών αιχμής, όπου ο προμηθευτής θα μπορεί να αγοράσει σε φθηνότερη τιμή την ηλεκτρική ενέργεια. Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων βελτιστοποίησης επικεντρώνονται στην μείωση της καμπύλης κατανάλωσης, ενώ η μείωση των πληρωμών είναι αποτέλεσμα εφαρμογής του τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)), το οποίο επιλέγεται προσεκτικά από τον προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή των αλγορίθμων βελτιστοποίησης θα μπορούσε να επιφέρει περαιτέρω διαχειριστικές ιδιότητες, αποτελώντας ένα καλό εργαλείο για την προετοιμασία διαφόρων προσφορών στις τιμές, ώστε να προσελκύσει νέους υποψήφιους πελάτες οι οποίοι να είναι πρόθυμοι και ευέλικτοι έτσι ώστε να πληρώνουν λιγότερα, αυξάνοντας έτσι και το μερίδιο της αγοράς. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκαν συγκεκριμένα σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας, έχουν επικεντρωθεί στα δεδομένα κατανάλωσης εντός μιας κοινότητας η οποία απαρτίζεται από 11 σπίτια, στα οποία είναι εγκατεστημένες περισσότερες από 300 συσκευές, εκ των

οποίων οι 82 είναι προγραμματιζόμενες, με ποσοστό μεριδίου ευθύνης περίπου 56%, σε σχέση με την συνολική κατανάλωση της ενέργειας.

Για να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού κατανάλωσης τόσο για τις διακοπτόμενες όσο και για τις μη διακοπτόμενες προγραμματιζόμενες συσκευές, τέσσερις αλγόριθμοι έχουν εφαρμοστεί στο περιβάλλον του προγράμματος Matlab, οι οποίοι έχουν οριστεί να λειτουργήσουν βάσει πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης της ενέργειας, μέσα από ένα σύνολο στοιχείων 24 ωρών και ενός έτους, για την ελαχιστοποίηση της αιχμής της κατανάλωσης της ενέργειας με διαφορετικές προσεγγίσεις όπως π.χ. είναι: α) Ο αλγόριθμος ελαχιστοποίησης του εύρους κατανάλωσης της ενέργειας, β) ο αλγόριθμος ελαχιστοποίησης max/min κατανάλωσης της ενέργειας, γ) ο αλγόριθμος ελαχιστοποίησης min/max της κατανάλωσης της ενέργειας και δ) ο αλγόριθμος ελαχιστοποίησης της διασποράς. Η ικανότητα λειτουργίας τους ως προς την μείωση της αιχμής της κατανάλωσης αξιολογείται μέσω του δείκτη μείωσης ((Flattening Index, (FI)), ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση μεταξύ της μέσης τιμής κατανάλωσης της ενέργειας προς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης της ενέργειας καθώς και του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση μεταξύ της κορυφής της αιχμής της ισχύς προς τον μέσο όρο της ισχύς. Οι τέσσερις αλγόριθμοι παρέχουν συγκριτικά αποτελέσματα σε σχέση με την μείωση της κατανάλωσης, με τους δείκτες μείωσης ((Flattening Index, (FI)), στην περίπτωση μας να φτάσουν σε τιμή έως και 0,94 σύμφωνα με τα σύνολα δεδομένων ενός έτους. Για την εφαρμογή εκτέλεσης προσομοίωσης των αλγορίθμων σε πιο ρεαλιστικές συνθήκες, το πλαίσιο του περιορισμού της κατάστασης έχει τροποποιηθεί περιορίζοντας περίπου κατά 20% τις ώρες λειτουργίας των προγραμματιζόμενων συσκευών κατά την διάρκεια της ημέρας και συγκεκριμένα από τις 8:00 μέχρι και τις 22:59.

Μια παγκόσμια μείωση της καμπύλης κατανάλωσης της ενέργειας, μπορεί επίσης να μειώσει το ποσοστό πληρωμής της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν επιβάλλονται διάφορα τιμολόγια ((Time of Use, (ToU)), και αυτό επειδή η μέγιστη κατανάλωση πραγματοποιείται γενικά όταν η ενέργεια είναι πιο ακριβή, δηλαδή τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Η επίτευξη εξοικονόμησης της ενέργειας με ποσοστό έως και 17,5%, μπορεί να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο κοινότητας μέσα από ένα σύνολο δεδομένων 24 ωρών μετά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης και όταν επιβάλλεται ένα ακραίο τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4. Επίσης γίνεται αξιολόγηση του κάθε σπιτιού, όπου το

κέρδος πληρωμής μετά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης και την επιβολή τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)) T4, μπορεί να φτάσει έως και 33,5%, βέβαια υπάρχουν και σπίτια με μικρά αρνητικά κέρδη που τονίζουν το γεγονός ότι δεν μπορεί να βελτιστοποιηθεί καμία καμπύλη κατανάλωσης, πράγμα που σημαίνει ότι η βελτιστοποίηση απαιτεί ένα ορισμένο επίπεδο ευελιξίας. Ωστόσο, ένας καλύτερος σχεδιασμός του πλαισίου περιορισμών της κατάστασης, θα μπορούσε να αποφέρει κέρδη πληρωμής ακόμη και στις λιγότερο ευέλικτες καμπύλες κατανάλωσης. Σε ένα σύνολο δεδομένων ενός έτους, τα κέρδη πληρωμής κατόπιν εφαρμογής τιμολογίου ((Time of Use, (ToU)) T4, μετά την βελτιστοποίηση ανέρχονται σε 6,65%. Παρ'όλα αυτά, ένας συμβιβασμός μεταξύ τόσο της μέγιστης μείωσης της αιχμής όσο και της ελάττωσης των πληρωμών, θα μπορούσε να ικανοποιήσει τόσο τους καταναλωτές όσο και τον πάροχο.

Επιπλέον ορισμένα σπίτια των καταναλωτών διαθέτουν έξτρα Φ/Β συστήματα στέγης, τα οποία θα μπορούσαν να μειώσουν περαιτέρω το κομμάτι της πληρωμής σε επίπεδο κοινότητας, επειδή τα περισσότερα από αυτά μπορούν και παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σπιτιού. Η πλεονάζουσα αυτή ενέργεια θα μπορεί να προσφερθεί και να διοχετευθεί σε άλλα σπίτια σε χαμηλότερες τιμές αναλογικά με την κατανάλωσή τους. Ένα κατ'αναλογία μερίδιο ενέργειας προερχόμενο από την τοπική ενεργειακή παραγωγή μέσω των Φ/Β στοιχείων των κατοικιών που έχει εφαρμοστεί και στα σύνολα δεδομένων τόσο των 24 ωρών όσο και του ενός έτους, για την διερεύνηση της πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας από την χρήση των Φ/Β στοιχείων μετά την εφαρμογή της βελτιστοποίησης. Σε ετήσια βάση, το κέρδος σε σχέση με το κομμάτι της πληρωμής των 11 κατοικιών κυμαίνεται μεταξύ περίπου του 7% και του 15%, όταν εφαρμόζεται τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4, ενώ στην περίπτωση που εφαρμόζεται τιμολόγιο ((Time of Use, (ToU)) T4 το οποίο σχετίζεται με το τυπικό τιμολόγιο, το ποσοστό αυτό ανέρχεται μεταξύ του 9% έως και 23%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σχεδόν το 30% της πλεονάζουσας ενέργειας δεν χρησιμοποιείται σε επίπεδο κοινότητας, εν τέλει θα μπορούσαν να εξεταστούν περαιτέρω στρατηγικές, όπως π.χ. είναι η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας από την χρήση (ΑΠΕ) ή η την ανταλλαγή ενέργειας με άλλες κοινότητες ή ακόμα και με την διοχέτευση της στο κεντρικό δίκτυο.

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης οραματίζεται σε μια αυτόματη διαδικασία μέσα σε ένα πλαίσιο που απαρτίζεται από έξυπνους μετρητές, αισθητήρες και ενεργοποιητές. Υπό αυτήν την προσέγγιση, ο προμηθευτής θα μπορεί να πραγματοποιήσει την βελτιστοποίηση και να επιτύχει πρόοδο στις πολιτικές διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης. Τέλος ένα άλλο πλεονέκτημα αυτής της προτεινόμενης μεθοδολογίας λειτουργίας και εφαρμογής των αλγορίθμων, είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς να γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συσκευών, διατηρώντας έτσι το απόρρητο των δεδομένων που σχετίζονται με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αποπειραθήκαμε να αναδείξουμε το πως το έξυπνο δίκτυο, ενσωματώνοντας ευφυή στοιχεία και συνεργαζόμενο με μία σειρά συστημάτων ανταπόκρισης στην ζήτηση, αλγορίθμων και μοντέλων βελτιστοποίησης δύναται να συμβάλει σε μία ορθή χρήση της ενέργειας, τόσο συνολικά όσο κατά τις επιμέρους κρίσιμες περιόδους της μέγιστης τιμής (peak) της ζήτησης - κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση μας, κατέστη πλέον σαφές πως η επίτευξη αυτού του στόχου επιτυγχάνεται σαφώς μέσα από την εφαρμογή τεχνολογικών προτύπων, την υιοθέτηση πολιτικών, ενώ εξίσου σημαντική θα πρέπει να θεωρείται και η ατομική ευθύνη.

Σε πολιτικό επίπεδο, η προώθηση της ανάπτυξης των ΑΠΕ αλλά και της διεσπαρμένης παραγωγής συνιστά παράγοντα κομβικής σημασίας για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς πρόκειται για πιο ήπιες μορφές ενέργειας, που συμβάλλουν στην ενίσχυση του κεντρικού δικτύου ηλεκτροδότησης, μέσω της πρόσθετης ποσότητας ενέργειας που προσφέρουν. Από την άλλη πλευρά, σε ατομικό επίπεδο, θα πρέπει ο κάθε πολίτης να προβεί συνειδητά στη μείωση της ατομικής ποσότητας χρήσης της ενέργειας, αλλά και στην μετατόπιση της, αλλάζοντας το προφίλ της ενεργειακής του κατανάλωσης. Η υλοποίηση αυτών των προσπαθειών θα ήταν γράμμα κενό εάν μέσα από τη σύζευξη της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών και του κατασκευαστικού κλάδου, δεν είχαν προστεθεί νέες εφαρμογές και τεχνολογίες που σχετίζονται με την διαχείριση της ενέργειας.

Στην αιχμή των τεχνολογικών εξελίξεων για μία πιο ορθολογική χρήση της ενέργειας βρίσκεται η μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο, η οποία σε συνδυασμό με τη χρήση τόσο των ειδικών αισθητήρων όσο και των έξυπνων μετρητών, προσφέρει μία αμφίδρομη επικοινωνία, διασφαλίζοντας έτσι μία πιο γρήγορη και πιο αποτελεσματική διαχείριση του κεντρικού δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στο πλαίσιο αυτό είναι η ανίχνευση και επίλυση των ενδεχόμενων διακοπών καθώς και η πρόβλεψη αλλά και καταγραφή του φορτίου της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αποτιμώντας τη συμβολή του έξυπνου δικτύου δεν θα μπορούσαμε, ακόμη, να παραβλέψουμε πως ένα έξυπνο δίκτυο, σε συνδυασμό με την χρήση των ΑΠΕ, ενισχύει την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών

στην αγορά ενέργειας, καθώς οι τελευταίοι αναπτύσσουν αυξημένη αλληλεπίδραση με το δίκτυο. Το γεγονός αυτό ενέχει αισθητά οφέλη, τόσο για το ίδιο το δίκτυο όσο και για το περιβάλλον, καθώς μειώνεται το κόστος της διανομής και παραγωγής της ενέργειας λόγω της προστιθέμενης ποσότητας της από την χρήση των ΑΠΕ.

Τα παραπάνω οφέλη πολλαπλασιάζονται όταν στο έξυπνο δίκτυο προστίθεται η χρήση ειδικών προγραμμάτων που σχετίζονται με εφαρμογές διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης ((Demand Site Management, (DSM)). Όπως αναλύθηκε ενδελεχώς, το σύστημα ((Demand Site Management, (DSM)), έχει τέσσερις στρατηγικές: το ((Demand Response, (DR)), την ((Energy Efficiency, (EE)), το ((Spinning Reserve, (SR)) και το ((Time-of-use, (ToU)). Η κύρια έμφαση αυτών των στρατηγικών έγκειται στην ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, οικονομικών κινήτρων, τιμής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και κυβερνητικών πολιτικών για την μείωση των αιτήσεων αιχμής του φορτίου και την διατήρηση ενός εκλεπτυσμένου συγχρονισμού μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης του δικτύου και των πελατών. Ο συνδυασμός αυτού του πλαισίου με προγράμματα ειδικά στο πεδίο του DR επιφέρει μία πιο ομαλή ενεργειακή κάλυψη των αναγκών των χρηστών, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τις ανάλογες συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο αλλά και την επίδραση που μπορεί να έχουν σε αυτό μία σειρά εξωγενών παραγόντων.

Μέσα από τη χρήση των προγραμμάτων DR αλλά και τη διευρυμένη χρήση προγραμμάτων που σχετίζονται με τα κίνητρα, όπως το Direct Load Control, το Interruptible/curtailable service, το Emergency Demand Response Program και το Capacity Market Program, επιτυγχάνεται ακόμη η αλλαγή του προφίλ του καταναλωτή, ο οποίος προβαίνει σε μειώσεις κατανάλωσης χρήσης της ενέργειας του σε συγκεκριμένες περιόδους όπως π.χ. είναι οι περίοδοι αιχμής της ζήτησης, βοηθώντας σε μία πιο “υγιή” λειτουργία του δικτύου ειδικά σε επείγουσες καταστάσεις που απειλούν την αξιοπιστία του. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραβλέψουμε ότι η καταναλωτική αυτή τάση δεν οδηγεί πάντοτε σε συνολική μείωση της καταναλώμενης ενέργειας, αφού συνήθως οι καταναλωτές που ανταποκρίνονται στις αντίστοιχες περιόδους, περικόπτουν φορτία αλλά παράλληλα μετατοπίζουν την κατανάλωση σε άλλες χρονικές περιόδους μέσα στην διάρκεια της ημέρας.

Πέρα από την αλλαγή του ενεργειακού προφίλ των χρηστών, σημαντική προς τη κατεύθυνση για μία πιο ορθολογική χρήση της ενέργειας είναι και η συμβολή των ίδιων

των κτιρίων. Έτσι στην εποχή μας αναφερόμαστε πλέον στα λεγόμενα έξυπνα κτίρια αλλά και στα κτίρια ((Zero Energy Buildings, (ZEBs)), τα οποία επιτυγχάνουν σημαντική βελτίωση του θετικού ενεργειακού αποτυπώματός τους, τόσο μέσω των υλικών κατασκευής τους όσο και μερικών βασικών συστημάτων που τα πλαισιώνουν, όπως είναι: Το έξυπνο σύστημα φωτισμού (LIGHTING), το σύστημα ((Building Automation System, (BAS)), το οποίο σχετίζεται με το σύστημα διαχείρισης του κτιρίου, το σύστημα ((Building Energy Management Systems, (BEMS)), το οποίο σχετίζεται με το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου, τα οικιακά δίκτυα ((Home Area Network, (HAN)) & ((Home Energy Management, (HEM)), όπου μέσω των ((Home Area Network, (HAN)) .

Στο ίδιο πλαίσιο, άξιο αναφοράς είναι και το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)), το οποίο μέσω της χρήσης κατάλληλων αλγορίθμων αλλά και μέσω της συνύπαρξης λειτουργίας με τα προγράμματα ((Demand Response, (DR)) & ((Demand Site Management, (DSM)) συμβάλλει σημαντικά στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και γενικά στην μείωση της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω της διαδικασίας προσομοίωσης αλλά και των εργαστηριακών δοκιμών του εν λόγω αλγορίθμου διαχείρισης της ενέργειας ((Energy Management System, (EMS)) στον έξυπνο μετρητή αφήνουν περιθώρια αισιοδοξίας ως προς την βελτίωση του ημερήσιου προφίλ του φορτίου σύμφωνα πάντα με την αξιολόγηση της απόδοσης του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR)), ο οποίος συνίσταται στο αποτέλεσμα της τιμής που προκύπτει από τον λόγο κορυφής της αιχμής της ζήτησης προς τον μέσο όρο της ζήτησης.

Στη μείωση χρήσης ενέργειας συμβάλει και η χρήση αλγορίθμων, όπως είναι ο ((Utility-oriented Temporal Association Rules Mining, (UTARM)), ο οποίος εστιάζει στην ανάδειξη του προφίλ των προτιμήσεων των χρηστών. Η χρήση τέτοιων αλγορίθμων εκτιμάται πως είναι προς τη σωστή κατεύθυνση, καθώς τόσο η κατανόηση όσο και ο σεβασμός των προτιμήσεων των οικιακών καταναλωτών αποτελούν βασικούς παράγοντες για την προώθηση των προγραμμάτων που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)). Με αυτό τον τρόπο, τα προγράμματα που αναφέρονται στην ανταπόκριση στην ζήτηση ((Demand Response, (DR)), θα μπορούν να προσαρμοστούν βάσει αυτών των προτιμήσεων των οικιακών καταναλωτών, ώστε να τους παρακινήσουν στο να χρησιμοποιούν πλέον αποτελεσματικότερα την ενέργεια. Τα



αποτελέσματα που επιτυγχάνονται μπορούν να ενσωματωθούν εν συνεχεία στο λεγόμενο οικιακό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ((Home Energy Management, (HEM)) για την ρύθμιση των συσκευών, θέτοντας ως προτεραιότητα τη βαρύτητα χρησιμότητας της συσκευής.

Σημαντική, ακόμη, είναι η συμβολή και των αλγορίθμων βελτιστοποίησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που εφαρμόζονται πάνω στα έξυπνα σπίτια και έχουν σχεδιαστεί για να μειώσουν την καμπύλη κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικημένων περιοχών, αλλά παράλληλα αποτελούν την ερευνητική βάση η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί και να επεκταθεί και για άλλους τύπους καταναλωτών. Βάσει αυτής της παραδοχής οι αλγόριθμοι θεωρούνται αξιόπιστα εργαλεία βελτιστοποίησης τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν από τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας για να παρέχουν καθημερινά χρονοδιαγράμματα ώστε να προσδιορίσουν την εφαρμογή του πιο κατάλληλου τιμολογίου ((Time of Use, (ToU))), φέρνοντας έτσι στην επιφάνεια οφέλη τα οποία έχουν αντίκρισμα τόσο στον προμηθευτή όσο στους καταναλωτές. Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων βελτιστοποίησης επικεντρώνονται στην μείωση της καμπύλης κατανάλωσης, ενώ η μείωση των πληρωμών είναι αποτέλεσμα εφαρμογής του τιμολογίου ((Time of Use, (ToU))), το οποίο επιλέγεται προσεκτικά από τον προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ικανότητα λειτουργίας τους ως προς την μείωση της αιχμής της κατανάλωσης αξιολογείται μέσω του δείκτη μείωσης ((Flattening Index, (FI))), ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση μεταξύ της μέσης τιμής κατανάλωσης της ενέργειας προς την μέγιστη τιμή κατανάλωσης της ενέργειας καθώς και του δείκτη ((Peak-to-Average-Ratio, (PAR))).

Από την παρούσα ανάλυση μας καθίσταται παραπάνω από σαφές ότι η πρόοδος των αλγορίθμων και των προγραμμάτων Demand Response, (DR) & Demand Site Management, (DSM) είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αποτελεσματικότητα ενός έξυπνου δικτύου. Η έρευνα που συνδέεται με την εξέλιξη όλων αυτών των παραμέτρων, προσφέρει πολλά πεδία προς διερεύνηση. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τις πρόσφατες εξελίξεις του συστήματος (DSM) και (DR), αντικείμενο μελλοντικής έρευνας μπορεί να αποτελέσει η διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας από την χρήση των ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο για την επίτευξη της βιωσιμότητας του δικτύου. Ωστόσο, δεν μπορεί κανείς να παραβλέψει ότι η διεσπαρμένη παραγωγή δεν είναι σταθερή λόγω των απρόβλεπτων χαρακτηριστικών των ΑΠΕ. Ως εκ τούτου, η

βελτιστοποίηση των υβριδικών ανανεώσιμων πηγών στην εφαρμογή τους σε σχέση με την πραγματική τους τιμή, την οικονομική απόδοση αλλά και επιλογή του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης απαιτεί περαιτέρω εκτεταμένες έρευνες.

Σημαντικό, ακόμη είναι να αναφέρουμε ότι κατά την εφαρμογή ενός προγράμματος DSM, πρέπει να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη μεταξύ των διαφορετικών χρηστών, η τυποποίηση και η διαλειτουργικότητα του έξυπνου δικτύου. Έτσι, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων των πελατών, απαιτείται διεξοδική έρευνα για τον πραγματικό χρόνο συγχρονισμού και ενσωμάτωσης μεταξύ της ασφάλειας, των έξυπνων συσκευών αλλά και της παρακολούθησης. Ταυτόχρονα, στο πεδίο εξέλιξης των αλγορίθμων, η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στον αλγόριθμο συσχέτισης μεταξύ του χρόνου χρήσης και του είδους της συσκευής, λαμβάνοντας όμως υπόψη τώρα την αξία της καταναλώμενης ενέργειας.

Εν κατακλείδι, η προσήλωση στην ανάπτυξη τεχνικών και δυναμικών για την ανάπτυξη ενός “υγιούς” έξυπνου δικτύου, που θα διασφαλίζει μία πιο ορθολογική χρήση της ενέργειας αποτελεί για μας μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις της παγκόσμιας κοινότητας τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

## **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Report: Understanding the Benefits of the Smart Grid June 18, 2010, National Energy Technology Laboratoryl [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov).
- [2] Ozadowicz, A. (2017). *A New Concept of Active Demand Side Management for Energy Efficient Prosumer Microgrids with Smart Building Technologies*. Krakow, Poland AGH University of Science and Technology, Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering *Energies* 2017, 10, 1771; doi:10.3390/en10111771
- [3] Kailas, A., Cecchi, V., & Mukherjee, A. (2012). *A Survey of Communications and Networking Technologies for Energy Management in Buildings and Home Automation*. Hindawi Publishing Corporation *Journal of Computer Networks and Communications* Volume 2012, Article ID 932181, 12 pages doi:10.1155/2012/932181
- [4] Samad, T., Koch, E., & Stluka, P. (2016). *Automated Demand Response for Smart Buildings and Microgrids: The State of the Practice and Research Challenges*. *Proceedings of the IEEE* | Vol. 104, No. 4, April 2016
- [5] Yi, P., Iwayemi, A., & Zhou, C. (2011). *Building Automation Networks for Smart Grids*. Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting* Volume 2011, Article ID 926363, 12 pages doi:10.1155/2011/926363
- [6] Osmá, G., Amado, L., Villamizar, R., & Ordoñez, G. (2015). *Building automation systems as tool to improve the resilience from energy behavior approach*. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- [7] Ghatage, S. R., Dongale, T.D., & Mudholkar, R.R. (2013). *Design and Development of ZigBee Based Smart Meter with Front End Graphical User Interface*. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)* Volume 2, Issue 7 December 2013
- [8] Habash, G., Chapotchkine, D., Fisher, P., Rancourt, A., Habash, R., & Norris, W. (2014). *Sustainable Design of a Nearly Zero Energy Building Facilitated by a Smart Microgrid*. Hindawi Publishing Corporation *Journal of Renewable Energy* Volume 2014, Article ID 725850, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/725850>
- [9] Eurostat. (2020). *Energy statistics - an overview*. Source : Statistics Explained (<https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/>) - 15/04/2020

- [10] U.S. Department of Energy. (2006). *Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them*. This a report to the United States Congress Pursuant to section 1252 of the energy policy act of 2005, February 2006.
- [11] Gummadilli, V., Sowmya, A., Hema Sree, B. (2018). *SCADA Based Centralized Building Energy Management and Automation System* Volume 04, Issue 01; January - 2018 [ISSN: 2455-1457] DOI:10.23883/IJRTER.2018.4027.TX5LM
- [12] Kothari, D. P., & Vijayapriya, T. (2011). *Smart Grid: An Overview*. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2011, 2, 305-311 doi:10.4236/sgre.2011.24035 Published Online November 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/sgre>)
- [13] Knowledge Paper on: Smart Grids, Automation and Solar Storage, March 2017.
- [14] Darwish, A. S. (2020). *Sustainable Green Smart Buildings: Future Energy Survivor*. ISESCO JOURNAL of Science and Technology Vol. 12 No 21
- [15] Khan, I. (2019). *Energy saving behaviour as a demand side management strategy in the developing world: the case of Bangladesh*. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* <https://doi.org/10.1007/s40095-019-0302-3>
- [16] Huang, W., Zhang, N., Kang, C., Li, M., & Huo, M. (2019). *From demand response to integrated demand response: review and prospect of research and application*. Published by Springer. *Protection and Control of Modern Power Systems* (2019) doi.org/10.1186/s41601-019-0126-4
- [17] Saad, M., & Shahid, W. (2016). *Demand Site Management and Demand Response*. Electronic copy available at: <http://ssrn.com/abstract=2774167>
- [18] Chojecki, A., Rodak, M., Ambroziak, A., & Borkowski, P. (2020). *Energy management system for residential buildings based on fuzzy logic: design and implementation in smart-meter*. published by the IET under the Creative Commons Attribution License. *IET Smart Grid*, 2020, Vol. 3 Iss.
- [19] Sarker, E., Halder, P., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2020). *Progress on the demand side management in smart grid and optimization approaches*. [wileyonlinelibrary.com/journal/er](http://wileyonlinelibrary.com/journal/er) © 2020 John Wiley & Sons Ltd.
- [20] Oprea, V. S., Bâra, A., Ifrim, A. G., & Coroianu, L. (2019). *Day-ahead electricity consumption optimization algorithms for smart homes*. 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

- [21] Osama, S., Alfonse, M., & Salem., A. B. (2019). *An efficient algorithm for extracting appliance-time association using smart meter data*. Received 5 January 2019; Received in revised form 20 April 2019; Accepted 1 August 2019 2405-8440/© 2019 Published by Elsevier Ltd.
- [22] Alipour, M., Zare, K., & Abapour, M. (2018). *MINLP probabilistic scheduling model for demand response programs integrated energy hubs*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(1), 79–88.
- [23] Liu, K. (2009). *Performance evaluation of ZigBee network for embedded electricity meters*. Doctoral dissertation, KTH.
- [24] Luca, G. D., Lillo, P., Mainetti, L., Mighali, V., Patrono, L., & Sergi, I. (2013). *KNX-Based Home Automation Systems for Android Mobile Devices*. University of Salento Lecce, Italy
- [25] BP Statistical of World Energy 2019, 68th edition, Bob Dudley Group chief executive June 2019.
- [26] STATISTICAL BOOKS: Eurostat Energy, transport and environment statistics, 2019 edition.
- [27] Kolokotsa, D. (2015). *The role of smart grids in the building sector*. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-NDlicense (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- [28] Farhangi, H. (2010). *The path of the smart grid*. IEEE Power Energy Mag. 2010;8(1):18-28.
- [29] Hu, J., & Lanzon, A. (2019). *Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids*.
- [30] Tokyo Electric Power Company. (2012). *Basic specifications for smart meter communications*, 2012 Retrieved from <http://www.tepco.co.jp>.
- [31] Alexander, R. (2012). *Smart electricity metering system for greenhouse conscious*. Retrieved 2012 from <http://titania.ctie.monash.edu.au>.
- [32] Botha, P.S.G. (2008). *Design of a smart electricity meter*. Retrieved Nov 2008 from [http://aruspex.co.za/Design of a smart electricity meter](http://aruspex.co.za/Design%20of%20a%20smart%20electricity%20meter).
- [33] Jan Top, H. (2010). *Smart grids and smart water metering in Netherlands*, Retrieved 2010 society/activities/sustainable.

- [34] Transportation demand management. (2013). *Transportation demand management*. Retrieved September 4, 2013, from [wikipedia.org/wiki/](http://wikipedia.org/wiki/).
- [35] Liu, K. (2009). *Performance evaluation of ZigBee network for embedded electricity meters*, Doctoral dissertation, KTH.
- [36] Zigbee and IEEE 802.15.4 protocols. (2013). Retrieved: September 5, 2013 from [wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.15.4](http://wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4).
- [37] Kulkarni, D.A., Dongale, T.D. & Uplane, M.D. (2013). *Simulation of three-phase inverter using minimum number of controlled switches*. *Elixir Power Elect. Engg*.
- [38] Fakosh, U., & Ahmed, R. (2012). *The employment of technical development to the direction of high-technology buildings within the framework of sustainable design*. Damascus University Journal of Science and Engineering
- [39] Bruckner, D., Haase, J., Palensky, P., Zucker, G. (2012). *Latest trends in Integrating Building Automation and SmartGrids*. DOI:10.1109/IECON.2012.6389021: <https://www.researchgate.net/publication/235231354>
- [40] Barbose, G., Goldman, C., Bharvirkar, R., Hopper, N., Ting, M., & Neenan, B. (2005). *Real Time Pricing as a Default or Optional Service for C&I Customers: A Comparative Analysis of Eight Case Studies*. Report to the California Energy Commission, Lawrence Berkeley National Laboratory: LBNL-57661
- [41] King, C., & Delurey, D. (2005), *Energy Efficiency and Demand Response: Twins, Siblings or Cousins?* Public Utilities Fortnightly
- [42] Neenan, B., Pratt, D., Cappers, P., Doane, J., Anderson, J., Boisvert, R., Goldman, C., Sezgen, O., Barbose, G., Bharvirkar, R., Kintner-Meyer, M., Shankle, S., & Bates, D. (2003). *How and Why Customers Respond to Electricity Price Variability: A Study of NYISO and NYISERDA 2002 PRL Program Performance*” report to the New York Independent System Operator and New York State Energy Research and Development Agency
- [43] Castro, M., Colclough, S., Machado, B., Andrade, J., & Bragança, L. (2020). *European legislation and incentives programmes for demand Side management*. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener)
- [44] Rahimpour, Z., Faccani, A., Azuatalam, D., Chapman, A., Verbic, G. (2017). *Using thermal inertia of buildings with phase change material for demand response*. *Energy Procedia* 121, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.483>.
- [45] Smale, R., Vliet, B.V., Spaargaren, G. (2017). *When social practices meet smart grids:*

*Flexibility, grid management, and domestic consumption in The Netherlands.* Energy Res. Soc. Sci. 34, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.037>.

[46] Lehmann, S. (2013). *Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions.*

[47] Warren, P. (2015). *Demand-Side Management Policy: Mechanisms for Success and Failure.* Doctoral thesis, UCL (University College London), (August). Available in: <http://discovery.ucl.ac.uk/1470440/>.

[48] Ford, R., Pritoni, M., Sanguinetti, A., Karlin, B. (2017). *Categories and functionality of smart home technology for energy management.* Environ. 123, 543–554. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.020>.

[49] Wu, Z., Zhou, S., Li, J., (2014).: *Real-time scheduling of residential appliances via conditional risk-at-value.* IEEE Trans. Smart Grid

[50] Shahgoshtasbi, D., & Jamshidi, M.M. (2014). *A new intelligent neuro–fuzzy paradigm for energy-efficient homes.* IEEE Syst. J., 2014

[51] Cooper, A., 2017. Electric Company Smart Meter Deployments: Foundation for a Smart Grid. The Institute of Electric Innovation consulted 1 December 2018. <http://www.edisonfoundation.net/>

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[52] Κουπριτζιώτη, Δ., & Μουσενίκας, Δ. (2015). *Μοντελοποίηση ομάδων καταναλωτών στην πλατφόρμα Cassandra.* ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

[53] Καπλάνη, Α. (2013). *ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ.*

[54] Καπετανίδης, Β. (2015). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Τίτλος: *Έξυπνα Συστήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια και Βιομηχανίες.*

[55] <https://el.wikipedia.org/>