



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Κουκουλής Μάριος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Οκτώβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

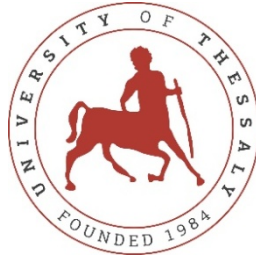
ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Κουκουλής Μάριος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Οκτώβριος 2023



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

SMART ELECTRICITY CURRENT METERS

MSc Thesis

Koukoulis Marios

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

October 2023

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Πλέσσας Φώτιος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Ευμορφόπουλος Νέστωρ**

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

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, 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. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. 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

Κουκουλής Μάριος

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this MSc 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 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 also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. 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

Koukoulis Marios

Έξυπνοι Μετρητές Ηλεκτρικού Ρεύματος

Κουκουλής Μάριος

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό μια πλήρη βιβλιογραφική ανασκόπηση στον κόσμο των έξυπνων μετρητών. Με την ευκαιρία της συνεχούς τεχνολογικής προόδου οι μετρητές των ηλεκτρικών στοιχείων των γραμμών μεταφοράς δεν θα μπορούσαν να μείνουν στάσιμοι.

Αρχικά, γίνεται μια ανασκόπηση του έξυπνου και εξελιγμένου τρόπου ζωής που εισάγεται στην σημερινή κοινωνία, παρουσιάζοντας πέρα από τα στοιχεία των έξυπνων μετρητών και στοιχεία από την δημιουργία των λεγόμενων έξυπνων σπιτιών και τις εφαρμογές IOT πάνω σ' αυτά. Τέτοιες εφαρμογές ασχολούνται με τους έξυπνους θερμοσίφωνες αλλά και με τις επικοινωνίες μέσω διαδικτύου όλων των έξυπνων συσκευών στο σπίτι. Το επόμενο κεφάλαιο ασχολείται με τις λειτουργίες των έξυπνων μετρητών καθώς και κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά τους στις άλλες χώρες. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την μεθοδολογία υλοποίησης τους καθώς και τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για έναν σωστό σχεδιασμό. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται μερικά από τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των γραμμών στα οποία πρέπει να λειτουργούν οι έξυπνοι μετρητές, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο εισάγονται οικονομικά στοιχεία. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια ερευνητική επισκόπηση της λειτουργίας των έξυπνων μετρητών, θέτονται ερευνητικά ερωτήματα και αναδεικνύεται ο τρόπος χρήσης των έξυπνων μετρητών σε μια πορεία για καλύτερη κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Λέξεις Κλειδιά: έξυπνοι μετρητές, οικονομικά χαρακτηριστικά και ανάλυση και λειτουργία

Smart Electricity Current Meters

Koukoulis Marios

Abstract

This thesis aims at a complete bibliographic review in the world of smart cash. Due to the continuous technological progress, the meters of the electrical components of the transmission lines could not remain stationary.

First, a review of the smart and sophisticated way of life that enters today's society is presented beyond the elements of smart meters and elements from the creation of the so-called smart homes and IoT applications on them. Such applications deal with smart water heaters but also with internet communications of all smart devices at home. The next chapter deals with the functions of smart meters as well as some of their key features in other countries. The third chapter deals with the methodology of their implementation as well as the factors that must be taken into account for a proper design. The fourth chapter presents some of the nominal characteristics of the lines on which smart meters should operate. While in the fifth chapter financial data are introduced. Chapter six provides a research overview of how smart meters work, poses research questions, and highlights how smart meters can be used in a way to better distribute energy consumption throughout the day.

Keywords: smart meters, financial features and analysis and operation

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	vi
Abstract	vii
Συνοτομογραφίες	11
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	12
1.1 Έξυπνα Σπίτια και Ενεργειακή Αντιμετώπιση	13
1.1.1 Ενεργειακός Έλεγχος στα Έξυπνα Σπίτια.....	14
1.1.2 Ενεργειακός Έλεγχος σε Πραγματικό Χρόνο	15
1.2 Έξυπνα Σπίτια και Τεχνολογίες.....	15
1.2.1 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID).....	16
1.2.2 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN)	16
1.2.3 Τεχνολογία φορετών αισθητήρων (Wearable Sensor)	18
1.2.4 Πρότυπο επικοινωνίας Bluetooth	19
1.3 Έξυπνα Σπίτια και Έξυπνες Συσκευές	21
1.3.1 Έξυπνος Θερμοστάτης.....	21
1.3.2 Έξυπνος Φωτισμός	23
1.3.3 Έξυπνη Κουζίνα.....	23
1.4 Έξυπνα σπίτια και έξυπνοι μετρητές.....	24
1.5 Η Ενσωμάτωση των Έξυπνων Σπιτιών στη Καθημερινότητα των Χρηστών	26
Κεφάλαιο 2 Λειτουργία και διάρθρωση έξυπνων μετρητών.....	27
2.1 Εισαγωγή	27
2.2 Έξυπνος μετρητές με την χρήση της αλυσίδας Markov.....	30
2.3 Περιγραφή ζητήματος έξυπνων μετρητών	31
2.4 Η έννοια της έξυπνης μέτρησης στις κάτω χώρες	34
2.5 Παροχή κινήτρων και συστήματος έξυπνων μετρητών.....	35
2.6 Η αγορά των έξυπνων μετρητών.....	36

2.7 Κοινωνία και υποδομές.....	37
2.8 Κοινωνική αποδοχή.....	38
2.9 Σχεδιασμός με ευαισθησία στην αξία (VSD).....	39
Κεφάλαιο 3 Σχεδίαση και υλοποίηση έξυπνων μετρητών	42
3.1 Λειτουργικές απαιτήσεις σχεδιασμού έξυπνου μετρητή	42
3.2 Επικοινωνία γραμμής ρεύματος (PLC)	42
3.3 Διαφορικός κωδικός μετατόπισης κλειδιού DCSK.....	43
3.4 Υπολογισμός ισχύος	43
3.5 3φ μέτρηση ισχύος.....	44
3.6 Υλοποίηση	44
3.6.1 Ρελέ στερεάς κατάστασης.....	44
Κεφάλαιο 4 Ανάλυση συστημάτων έξυπνων μετρητών	47
4.1 Πρόγραμμα έξυπνης μέτρησης Victoria.....	47
4.2 Έξυπνοι μετρητές στην Ελλάδα	48
4.3 Συστήματα υψηλής αξιοπιστίας.....	48
4.3.1 Έξυπνοι μετρητές.....	49
4.4 Χρήση έξυπνων μετρητών για την αύξηση της απόδοσης	51
4.4.1 Η κατάσταση στην Ελλάδα	52
4.4.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας	52
4.4.3 Χαρακτηριστικά του ελληνικού κτιριακού αποθέματος.....	53
4.4.4 Καταναλώσεις στα Ελληνικά κτίρια	54
4.4.5 Υλοποίηση έξυπνων μετρητών.....	55
Κεφάλαιο 5 Εκτίμηση σκοπιμότητας εξοικονόμησης ενέργειας εγκατάστασης έξυπνων μετρητών	58
5.1 Το συνολικό κόστος των έξυπνων μετρητών	59
5.2 Εξοικονόμηση με εφαρμογή έξυπνης μέτρησης	59
5.3 Οικονομική προσέγγιση	60

5.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης σκοπιμότητας.....	61
Κεφάλαιο 6 Ερευνητικό μέρος	64
6.1 Το μοντέλο ARIMA.....	64
6.2 Σχεδιασμός και εφαρμογή ερευνητικού μέρους.....	66
6.2.1 Στόχοι ερευνητικού μέρους.....	66
6.2.2 Συνεισφορά της εργασίας	67
6.3 Ερευνητικά Ερωτήματα	68
6.4 Μεθοδολογία Έρευνας.....	69
6.5 Μελέτη περίπτωσης	70
6.6 Αποτελέσματα	74
6.7 Συζήτηση.....	116
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα	118

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση έξυπνου σπιτιού	13
Εικόνα 1.2: Σύνδεση έξυπνων συσκευών με χρήση της τεχνολογίας WSN.....	18
Εικόνα 1.3: Σύνδεση έξυπνων συσκευών μέσω Bluetooth Low Energy (BLE)	21
Εικόνα 1.4: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του έξυπνου Θερμοστάτη.....	22
Εικόνα 1.5: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας των έξυπνων μετρητών.....	25
Εικόνα 2.1: Η βασική ιδέα του smartmetering	35
Εικόνα 3.1: Τρίγωνο ισχύος.....	43
Εικόνα 3.2: Χωρητικότητα διακόπτη σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση.	45
Εικόνα 3.3: Solid State relay συσκευή	45
Εικόνα 4.1: Συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας και τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-27 από το 1997.	52
Εικόνα 4.2: Κατανάλωση ενέργειας πολυκατοικίας σε κατάσταση αναφοράς και μετά από παρεμβάσεις ανά κλιματική ζώνη, Πηγή	55
Εικόνα 6.1: Ροή Μεθοδολογίας Έρευνας.....	70
Εικόνα 6.2: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 3 στις 3 Απριλίου	78
Εικόνα 6.3: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 5 στις 14 Απριλίου	79
Εικόνα 6.4: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 6 στις 3 Απριλίου	80
Εικόνα 6.5: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 7 την 1η Απριλίου.....	80
Εικόνα 6.6: Μέγιστη κατανάλωση ενέργειας διαφορετικών νοικοκυριών.....	81
Εικόνα 6.7: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 1	83
Εικόνα 6.8: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 1	83
Εικόνα 6.9: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 3	83
Εικόνα 6.10: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 3	84
Εικόνα 6.11: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 6	84
Εικόνα 6.12: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 6	85
Εικόνα 6.13: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 10	85
Εικόνα 6.14: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 10	86

Εικόνα 6.15: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 13	86
Εικόνα 6.16: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 13	87
Εικόνα 6.17: Διάγραμμα ροής ARIMAModeling	89
Εικόνα 6.18: Επιλογή του καλύτερου μοντέλου με χρήση του εργαλείου XLSTAT λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές κατανάλωσης	90
Εικόνα 6.19: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 18 Απριλίου	96
Εικόνα 6.20: Κατανάλωση νοικοκυριού 11 στις 18 Απριλίου	97
Εικόνα 6.21: Κατανάλωση νοικοκυριού 4 στις 22 Απριλίου	99
Εικόνα 6.22: Κατανάλωση νοικοκυριού 5 στις 7 Απριλίου	100
Εικόνα 6.23: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 26 Απριλίου	102
Εικόνα 6.24: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 26 Απριλίου	103
Εικόνα 6.25: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 20 Απριλίου	104
Εικόνα 6.26: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 28 Απριλίου	105
Εικόνα 6.27: Αυτοσυσχέτιση των τιμών	110
Εικόνα 6.28: Κατανάλωση νοικοκυριού 2 στις 27 Απριλίου	111
Εικόνα 6.29: Σωρευτικό κόστος του νοικοκυριού 2 στις 27 Απριλίου	111
Εικόνα 6.30: Κατανάλωση νοικοκυριού 5 στις 25 Απριλίου	112
Εικόνα 6.31: Κατανάλωση νοικοκυριού 6 στις 20 Απριλίου	112
Εικόνα 6.32: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 14 Απριλίου	113
Εικόνα 6.33: Κατανάλωση νοικοκυριού 14 στις 19 Απριλίου	114

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 4.1: Κατανάλωση ενέργειας πολυκατοικίας σε κατάσταση αναφοράς και μετά από παρεμβάσεις ανά κλιματική ζώνη,(researchgate.net)	54
Πίνακας 4.2: Ποσοστό εξοικονόμησης έξυπνης μέτρησης σε μονοκατοικίες ανά κλιματική ζώνη και ηλικία (researchgate.net)	56
Πίνακας 6.1: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 18 Απριλίου	94
Πίνακας 6.2 : Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 11 στις 18 Απριλίου	96
Πίνακας 6.3: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 4 στις 22 Απριλίου	98
Πίνακας 6.4: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 5 στις 7 Απριλίου	99
Πίνακας 6.5: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 26 Απριλίου	101
Πίνακας 6.6: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 10 στις 26 Απριλίου	103
Πίνακας 6.7: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 20 Απριλίου	104
Πίνακας 6.8: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 10 στις 28 Απριλίου	105
Πίνακας 6.9: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 10 στις 28 Απριλίου.....	106
Πίνακας 6.10: Συσχετισμοί, Μέγιστη συσχέτιση και ελάχιστες τιμές συσχέτισης 12 ημερών για 16 νοικοκυριά).....	108
Πίνακας 6.11: Συσχετισμοί, Μέγιστη συσχέτιση και ελάχιστες τιμές συσχέτισης 4 ημερών και μέγιστη συσχέτιση, ελάχιστες τιμές συσχέτισης 16 νοικοκυριών.....	108
Πίνακας 6.12: Ισοπεδωμένο και μη φερτές σωρευτικό κόστος των νοικοκυριών 5, 6, 10 και 14.....	115

Συντομογραφίες

AMI	Advanced Metering Infrastructure
DCSK	Differential Code Shift Key
EEG	Εγκεφαλογραφήματα
EMG	Ηλεκτρομυογράφημα
EV	Electrical Vehicles
G2V	Grid to Vehicle
IoT	Internet of Things
IRR	Εσωτερικό Ποσοστό Απόδοσης
MDMS	Meter Data Management Systems
MRP	Meter Responsible Party
NEN	Nederlands Normalisatie Instituut (Ολλανδικό Ινστιτούτο Κανονικοποίησης)
NPV	Καθαρή Παρούσα Αξία
PLC	Power Line Communication Carrier
PP	Περίοδος Αποπληρωμής
RFID	Radio-frequency Identification
SGN	Smart Grid Network
SM	Smart Meter
SMIR	Smart Metering Implementation Program
SSR	Solid State Relay
TAM	Μοντέλο Αποδοχής Τεχνολογίας
V2G	Vehicle to grid
VSD	Value Sensitive Design
ZEB	Zero Energy Buildings
WAN	Δίκτυο Ευρείας Περιοχής
WSN	Wireless Sensors Network
Α.Π.Ε	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, τα νέα συστήματα γίνονται όλο και πιο περίπλοκα ταυτόχρονα η καθημερινότητα των ανθρώπων γίνεται απλούστερη, το οποίο αποτελεί σημαντικό επιχείρημα για την αποδοχή τέτοιων συστημάτων. Δεν απέχουμε πολλά χρόνια από την απαρχή των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι οποίοι ενίσχυσαν τα ήδη υπάρχοντα υπολογιστικά συστήματα και ουσιαστικά μείωσαν δραστικά τους άλλοτε μεγάλους χρόνους υπολογισμού.

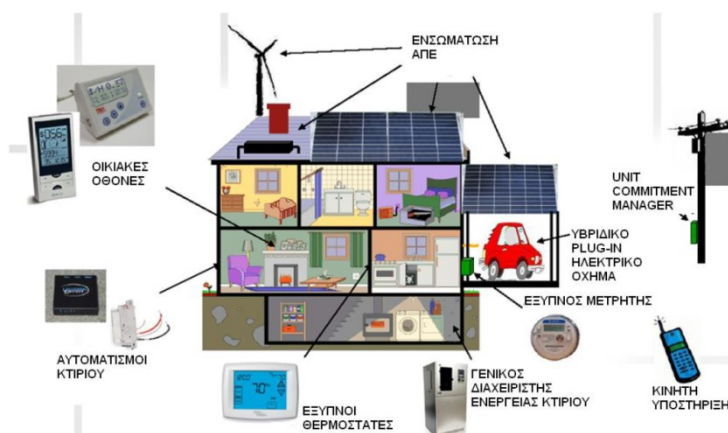
Ένα έξυπνο σπίτι αποτελεί ένα δίκτυο φυσικών συσκευών οι οποίες παρέχουν στο σπίτι υπηρεσίες που έχουν να κάνουν με την παροχή ενέργειας, την επίβλεψη του τρόπου λειτουργίας των συσκευών αυτών και της απόδοσής τους, τον απομακρυσμένο έλεγχο της λειτουργίας τους, αλλά και τη μεταξύ τους συνδεσιμότητα. Τα έξυπνα σπίτια είναι αυτοματοποιημένα κτίρια που διαθέτουν εγκατεστημένες συσκευές ανίχνευσης και ελέγχου, όπως είναι οι συσκευές που αφορούν τη θέρμανση, τον κλιματισμό, το φωτισμό, την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και τα συστήματα ασφαλείας. Ο ιδιοκτήτης ενός τέτοιου σπιτιού μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα με τις συσκευές αυτές χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή, τη τηλεόραση ή το tablet του. Η συνδεσιμότητα μεταξύ όλων αυτών των συστημάτων διαχειρίζεται από το IoT. Τα έξυπνα σπίτια αποτελούν ένα σημαντικό συστατικό στοιχείο του Internet of Things (IoT). Στις μέρες μας τα έξυπνα σπίτια εξυπηρετούν αποτελεσματικά τους χρήστες, μέσω της επικοινωνίας με διάφορες συσκευές οι οποίες στηρίζουν τη λειτουργία τους στο IoT. Στην ιδανική περίπτωση, όλες οι συσκευές ενός έξυπνου σπιτιού θα μπορούν να επικοινωνήσουν απρόσκοπτα και αποτελεσματικά μεταξύ τους. Η τεχνολογία των έξυπνων σπιτιών που βασίζονται στο IoT έχει αλλάξει την καθημερινότητα πολλών ανθρώπων, μέσω της παροχής συνδεσιμότητας με τις έξυπνες συσκευές, σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται ο χρήστης τους, οποιαδήποτε στιγμή.

1.1 Έξυπνα Σπίτια και Ενεργειακή Αντιμετώπιση

Από τα πιο φλέγοντα ζητήματα της σημερινής έρευνας και ανάπτυξης αποτελεί η κάλυψη των ενεργειακών όχι μόνο των απλών οικιών αλλά ειδικότερα των έξυπνων σπιτιών. Με την ευαισθητοποίηση της σημερινής κοινωνίας ως προς τα περιβαλλοντικά ζητήματα για την μείωση εκπομπών των ρύπων και γενικότερα την μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, οι άνθρωποι στρέφονται σε πιο ενεργειακά αποδοτικές λύσεις και φιλικότερες προς το περιβάλλον.

Τα έξυπνα σπίτια αποτελούν μια καινοτόμα ανακάλυψη που ενσωματώνει όχι μόνο την σύγχρονη τεχνολογική πρόοδο αλλά και την ανάγκη για άμεση αντιμετώπιση των καθημερινών ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων νοικοκυριών με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Τέτοιες Α.Π.Ε μπορεί να είναι από Φωτοβολταϊκά πάνελ στην οροφή του σπιτιού μέχρι και ανεμογεννήτριες μερικών kW είτε στις οροφές των κτηριακών δομών είτε στις αυλές. Επιπλέον, με την στήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιτυγχάνεται ο στόχος για την μετατροπή ή την δημιουργία τέτοιων οικιών ως κτήρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nearly Zero Energy Buildings ZEB). Επίσης, η συνεισφορά των έξυπνων σπιτιών δεν σταματάει στις Α.Π.Ε καθώς ενσωματώνει και λειτουργίες όπως την συνεργασία με τα ηλεκτρικά οχήματα με τις λειτουργίες Vehicle to grid (V2G) και Grid to Vehicle (G2V), ακόμα εμπεριέχει και σύγχρονους έξυπνους μετρητές κ.α.

Στην Εικόνα 1.1 απεικονίζεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός σύγχρονου έξυπνου σπιτιού που ενσωματώνει όλες τις ενεργειακές λύσεις στα σύγχρονα ενεργειακά προβλήματα.



Εικόνα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση έξυπνου σπιτιού

Σημαντικές βελτιστοποιήσεις πρέπει να γίνουν από την σκοπιά της δικτύου ενέργειας πριν τα έξυπνα σπίτια γίνουν πραγματικότητα ειδικότερα στο δίκτυο διανομής. Το κυριότερο είναι η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Από την άποψη των καταναλωτών τα συστήματα αυτά θα τίθενται σε λειτουργία για την μείωση του φορτίου σε ώρες αιχμής, δηλαδή σε ώρες που το δίκτυο δέχεται την μεγαλύτερη επιβάρυνση τα έξυπνα σπίτια θα τροφοδοτούνται μέσω των αποθηκευμένων ενεργειών και οι αποθήκες ενέργειας θα επαναφορτίζονται σε ώρες όπου το φορτίο του δικτύου ενέργειας δεν είναι μέγιστο (peak) π.χ. τις νυχτερινές ώρες.

1.1.1 Ενεργειακός Έλεγχος στα Έξυπνα Σπίτια

Η διαχείριση του ενεργειακού ελέγχου στα έξυπνα σπίτια αφορά την προσπάθεια αύξησης του ελέγχου στην οικιακή κατανάλωση ενέργειας. Οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει την ενσωματωμένη νοημοσύνη υπολογιστών προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ισχύος των ελεγχόμενων συσκευών. Για το σκοπό αυτό βασίστηκαν στα συστήματα λιανικής τιμολόγησης, σε γνώσεις πάνω σε διάφορες οικιακές συσκευές και σε αποφάσεις σχετικά με την καταναλωτική συμπεριφορά τους. Αυτή η πλατφόρμα παρείχε εύκολη πρόσβαση σε επιλεγμένες οθόνες που επιτρέπουν την αλλαγή της καταναλωτικής κατάστασης. Προωθήθηκε επίσης η απομακρυσμένη επισκόπηση των πληροφοριών αλλά και ο έλεγχος χρήσης ενέργειας μέσω έξυπνων τηλεφώνων και απομακρυσμένων υπολογιστών. Αυτό το σύστημα ήταν επιπλέον σε θέση να ανιχνεύσει τάσεις τροφοδοσίας εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και να προστατεύσει τις ελεγχόμενες συσκευές απενεργοποιώντας την παροχή [1]. Ομοίως, οι Roy, DasBhaumik, κ.ά. [2] ανέπτυξαν ένα προγνωστικό πλαίσιο για τη βελτιστοποίηση πόρων σε έξυπνα σπίτια με γνώμονα την τοποθεσία, το οποίο επιτρέπει την αποτελεσματική αναγνώριση θέσεων και μετακινήσεων των κατοίκων. Η δράση της πρόβλεψης της τοποθεσίας των χρηστών υποστηρίζει την ενεργητική διαχείριση πόρων και την κατά εντολή λειτουργία αυτοματοποιημένων συσκευών, μαζί με τις μελλοντικές διαδρομές ή και τοποθεσίες των χρηστών, παρέχοντας έτσι το επιθυμητό επίπεδο άνεσης με σχεδόν βέλτιστο κόστος. Εναλλακτικά, οι ερευνητές πρότειναν συστήματα πολλαπλής ανίχνευσης που βασίζονται σε δίκτυα και υβριδικούς αλγόριθμους προκειμένου να προσδιοριστούν

και να ελεγχθούν αυτόματα οι ενεργειακοί πόροι που διατίθενται στο χρήστες και να προσδιοριστεί το βέλτιστο κόστος λειτουργίας.

1.1.2 Ενεργειακός Έλεγχος σε Πραγματικό Χρόνο

Συνιστάται ότι, η αποτελεσματικότητα των έξυπνων σπιτιών αναμένεται να κορυφωθεί με τη αξιοποίηση προσεγγίσεων σε πραγματικό χρόνο. Με βάση ένα αμφίδρομο σύστημα υποδομής ψηφιακής επικοινωνίας, οι ερευνητές έχουν διαμορφώσει ένα παιχνίδι προγραμματισμού κατανάλωσης ενέργειας. Οι παίκτες ήταν οι χρήστες και οι στρατηγικές τους ήταν τα καθημερινά προγράμματα του συσκευών και φορτίων του νοικοκυριού τους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκάλυψαν ότι, με το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να μειωθεί η μέγιστη προς μέση αναλογία της συνολικής ενεργειακής ζήτησης, του συνολικού ενεργειακού κόστους καθώς και ατομική ημερήσια χρέωση ηλεκτρικού ρεύματος των χρηστών [3]. Επιπλέον, προκειμένου να ενθαρρυνθούν τα νοικοκυριά να συμμετάσχουν στην ενεργειακή διαχείριση με τις έξυπνες οικιακές πρακτικές, οι ερευνητές πρότειναν ένα μηχανισμό ζήτησης-απόκρισης. Κατά συνέπεια, τα συστήματα διαχείρισης σπιτιού σε πραγματικό χρόνο προσφέρουν ένα πολλά υποσχόμενο βλέμμα στις μελλοντικές εξελίξεις των εφαρμογών αυτοματισμού στα έξυπνα σπίτια. Τελικά, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας σε έξυπνα σπίτια προσφέρει την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω ελέγχου αλλά και μεθόδους διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο. Προβλέπεται επίσης ότι η βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση των έξυπνων σπιτιών μειώνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος.

1.2 Έξυπνα Σπίτια και Τεχνολογίες

Οι περισσότερες εφαρμογές στα έξυπνα σπίτια στηρίζουν τη λειτουργία τους σε συγκεκριμένες τεχνολογίες. Μερικές από τις πιο βασικές είναι η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (Radio-frequency Identification - RFID), το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Signal Network - WSN) και το πολύ γνωστό πρότυπο επικοινωνίας Bluetooth.

1.2.1 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων

Η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που επιτρέπει στους υπολογιστές να διαβάζουν την «ταυτότητα» φθηνών ηλεκτρονικών ετικετών (tags), που δεν έχουν την απαίτηση μπαταρίας, από απόσταση. Στο παρελθόν, η έλλειψη ευρέως αποδεκτών βιομηχανικών προτύπων περιόρισαν τη χρήση RFID σε μερικές εφαρμογές όπως η έκδοση εισιτηρίων. Καθώς η τεχνολογία RFID ωριμάζει, δημιουργείται ένα νέο κύμα εφαρμογών που εκμεταλλεύονται τη φθηνή και εύκολα διαθέσιμη αυτόματη αναγνώριση. Συνήθως υπάρχουν δύο τύποι ετικετών RFID. Από τη μία, οι παθητικές ετικέτες δεν έχουν πηγή τροφοδοσίας και είναι συχνά συνδεδεμένες σε ένα αντικείμενο για την ανίχνευση αλληλεπίδρασης χρήστη-αντικειμένου.

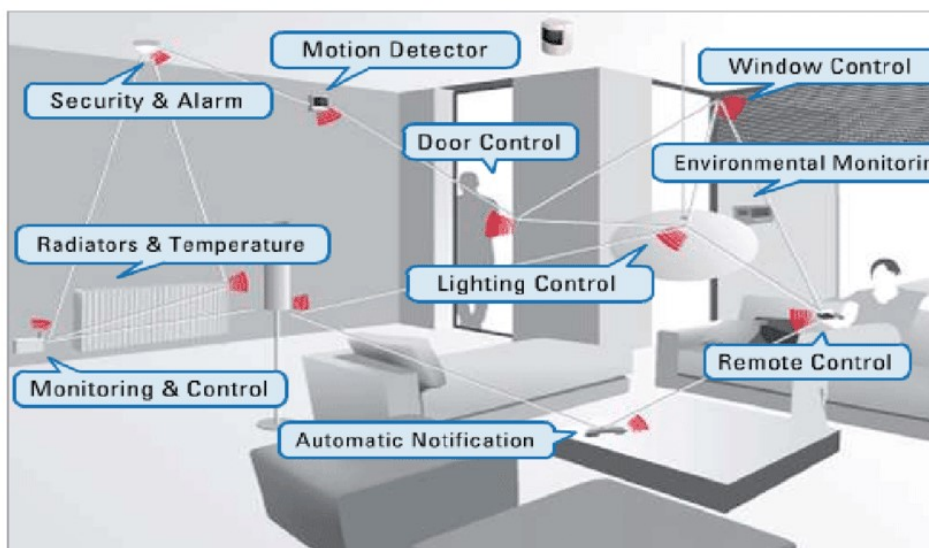
Από την άλλη, οι ενεργές ετικέτες RFID περιέχουν μπαταρία και παρέχουν μεγαλύτερη εμβέλεια και μπορούν να μεταφερθούν από ένα άτομο για προσωπική ταυτοποίηση. Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς της τεχνολογίας RFID είναι η αξιοπιστία και η σταθερότητά τους, ιδίως όταν διαβάζονται μέσω υγρών ή μετάλλων. Ωστόσο, η ικανότητα των ετικετών RFID να τοποθετούνται εκτός θέασης και να παρακολουθούν πολλούς ανθρώπους τις καθιστούν κατάλληλες για έξυπνα σπίτια. Ένα παράδειγμα χρήσης της τεχνολογίας αυτής σε έξυπνα σπίτια είναι το σύστημα Smart Plug, στο οποίο κάθε πρίζα είναι εξοπλισμένη με συσκευή ανάγνωσης RFID και τα βύσματα ηλεκτρικών συσκευών όπως λαμπτήρες ή ραδιόφωνα ήταν συνδεδεμένα με ετικέτα RFID. Κάθε φορά που μια συσκευή συνδέεται σε πρίζα, ο αναγνώστης RFID στην πρίζα διαβάζει την ετικέτα και αποστέλλει δεδομένα στον κύριο υπολογιστή. Ο υπολογιστής μπορεί να αναγνωρίσει άμεσα κάθε συσκευή και τη θέση της, καθώς και να ελέγξει τη συσκευή.

1.2.2 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Στο πρόσφατο παρελθόν, έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες σχετικά με την ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης των δραστηριοτήτων των ηλικιωμένων ατόμων που ζουν στο σπίτι. Εφαρμογές που αφορούν την ασφάλεια των ατόμων αυτών χρησιμοποιούν πλήρως συστήματα που βασίζονται σε κάμερα, αλλά για δραστηριότητες οικιακής παρακολούθησης τέτοια συστήματα στερούνται της μαζικής αποδοχής των ηλικιωμένων. Υπάρχει μια απαίτηση για ένα ηλεκτρονικό σύστημα με

έξυπνο μηχανισμό, λιγότερο κόστος, ευέλικτο και ακριβές για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των βασικών δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής και συμπεριφοράς των ηλικιωμένων που ζουν μόνοι, έτσι ώστε η φροντίδα να μπορεί να ληφθεί την κατάλληλη στιγμή ενημερώνοντας τα άτομα που μεριμνούν για την προστασία των ηλικιωμένων.

Μία αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα αυτό δίνουν τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, WSN (Εικόνα 1.2). Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για την καθημερινή παρακολούθηση και μοντελοποίηση των δραστηριοτήτων των κατοίκων. Το ανεπτυγμένο σύστημα αποτελείται από δύο βασικές ενότητες. Στο χαμηλότερο επίπεδο, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) συλλαμβάνει τα δεδομένα αισθητήρα με βάση τη χρήση οικιακών συσκευών και αποθηκεύει τα δεδομένα στο σύστημα υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Τα δεδομένα του αισθητήρα που συλλέγονται έχουν πληροφορίες χαμηλού επιπέδου που περιέχουν μόνο την κατάσταση του αισθητήρα ως ενεργού ή ανενεργού και την ταυτότητα του αισθητήρα. Για να ανιχνευθεί η συμπεριφορά των ηλικιωμένων σε πραγματικό χρόνο, η το λογισμικό που χρησιμοποιείται θα αναλύσει τα δεδομένα που συλλέγονται με τη χρήση ενός έξυπνου μηχανισμού σε διάφορα επίπεδα αφαίρεσης δεδομένων, που βασίζεται στο χρόνο και στην ακολουθία της χρήσης του αισθητήρα. Τα κατασκευασμένα συστήματα αισθητήρων επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω πρωτοκόλλων ραδιοσυχνότητας και παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των καθημερινών δραστηριοτήτων ενός ηλικιωμένου ατόμου. Ένας έξυπνος ελεγκτής αισθητήρα συλλέγει τα δεδομένα που αποστέλλονται από τις επιμέρους μονάδες αισθητήρων, προωθούνται στο σύστημα υπολογιστή μέσω σειριακής επικοινωνίας για επεξεργασία δεδομένων. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα αλλάζουν δυναμικά και απαιτούν γρήγορο χρόνο απόκρισης σε πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη της παράτυπης συμπεριφοράς του ηλικιωμένου. Για σωστή ανάλυση των δεδομένων εκτελείται μια αποτελεσματική διαδικασία μηχανισμού αποθήκευσης δεδομένων αισθητήρων στο σύστημα του υπολογιστή.



Εικόνα 1.2: Σύνδεση έξυπνων συσκευών με χρήση της τεχνολογίας WSN (Researchgate.net)

Ένα τυπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ατόμων στο σπίτι περιλαμβάνει έξι μονάδες παρακολούθησης ηλεκτρικών συσκευών, που αφορούν την παρακολούθηση του βραστήρα ζεστού νερού, του φούρνου μικροκυμάτων, της τοστιέρας, της τηλεόρασης, του θερμοσίφωνα και του πλυντηρίου ρούχων. Επιπλέον, υπάρχουν τέσσερις μονάδες παρακολούθησης με βάση τους αισθητήρες για την παρακολούθηση συσκευών κρεβατιού, τουαλέτας, καναπέ και καρέκλας.

1.2.3 Τεχνολογία φορητών αισθητήρων (Wearable Sensor)

Οι φορητοί αισθητήρες ορίζονται απλώς από τον Ding, [4] ως αισθητήρες που φορούν οι κάτοικοι ενός σπιτιού. Διάφοροι ερευνητές προσπάθησαν να αναπτυχθούν έξυπνα φορητά συστήματα. Ο κύριος ρόλος των φορητών αισθητήρων είναι να συνδέει το περιβάλλον διαβίωσης με τις φυσικές και γνωστικές ικανότητες ή περιορισμούς αυτών που πάσχουν από αναπηρίες ή ασθένειες, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσής τους, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο ασθένειας, τραυματισμού και ταλαιπωρίας.

Αυτά τα συστήματα υποστηρίζουν την ανεξάρτητη διαβίωση των ηλικιωμένων, τη μετεγχειρητική αποκατάσταση των ασθενών, επιταχύνει την ανάρρωση και ενισχύει τις φυσικές ικανότητες του ατόμου. Τα φορητά συστήματα παρακολούθησης της υγείας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους μικρογραφιών φορητών,

εμφυτεύσιμων ή ινίνο αισθητήρων. Αυτοί οι βιοαισθητήρες μπορούν να μετρήσουν φυσικές παραμέτρους όπως θερμοκρασία σώματος και δέρματος, ο καρδιακός ρυθμός, τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα, τα Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα (EEG), Ηλεκτρομυογραφήματα (EMGs) ή το SpO₂ (εκτίμηση του επιπέδου κορεσμού οξυγόνου). Επιπλέον, έξυπνες συσκευές μπορεί επίσης να παρέχουν επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η μετάδοση δεδομένων μέσω δικτύων ασύρματης επικοινωνίας επιτρέπουν την παρακολούθηση ασθενών από πάροχους υγειονομικής περίθαλψης, που μπορούν έτσι να ειδοποιηθούν τη στιγμή που συμβαίνει επικίνδυνο συμβάν.

Τα τρέχοντα χαρακτηριστικά των φορητών αισθητήρων επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν τη φυσική κατάσταση, τις καθημερινές δραστηριότητες, και ατομικές τους συμπεριφορές. Η εφαρμογή των αισθητήρων επιτρέπει στους χρήστες να μετρήσουν τη φυσιολογία τους παραμέτρους όπως θερμοκρασία σώματος και δέρματος, καρδιακός ρυθμός, ΗΚΓ, ΗΕΓ, ΗΜΓ ή το ενεργοποιημένο SpO₂ χωρίς τη βοήθεια τρίτου προσώπου. Αυτοί οι αισθητήρες πρέπει να είναι εύχρηστοι, μικρού μεγέθους και διακριτικοί. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι αδιάβροχοι και να έχουν μπαταρία μεγάλης διάρκειας. Αυτά τα συστήματα οφείλουν να είναι σε θέση να συλλέγουν μετρήσεις χωρίς την παρέμβαση τρίτου. Πρέπει επίσης να παρέχουν συνολική εμπιστευτικότητα και αξιοπιστία δεδομένων [5]. Αυτοί οι φορητοί αισθητήρες βρίσκονται σε διάφορες μορφές, συγκεκριμένα, ως ενδύματα κλωστοϋφαντουργίας, συσκευές που φοριούνται στον καρπό, δαχτυλίδια, συστήματα με ζώνες, θήκες πάνω από τους ώμους, ζώνη στο στήθος (για παρακολούθηση του στρες) ή ακόμη και έναν αισθητήρα γλυκόζης με βελόνα. Η εφαρμογή φορητών συστημάτων στα έξυπνα σπίτια αναμένεται να βελτιώσει το επίπεδο άνεσης, υγείας και πρόληψης ασθενειών. Η ακριβής εφαρμογή αυτών των αισθητήρων μειώνει τον κίνδυνο νοσηλείας. Ως εκ τούτου, αναμένεται σημαντική εξοικονόμηση ως αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης της χειροκίνητης βοήθειας και της περιττής νοσηλείας.

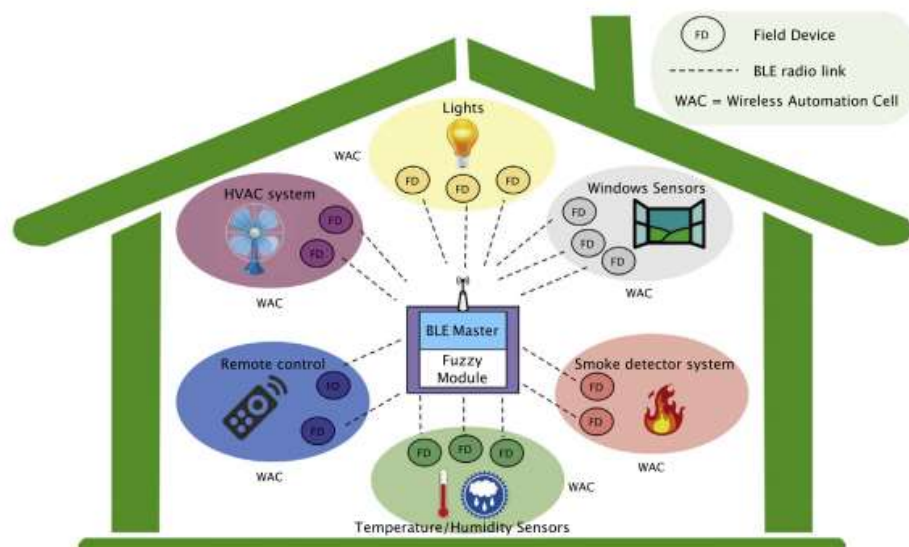
1.2.4 Πρότυπο επικοινωνίας Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένας τυπικός τρόπος σύνδεσης των συσκευών χωρίς τη χρήση καλωδίου μεταξύ τους. Πρόκειται για μια συσκευή χαμηλής ισχύος, χαμηλού κόστους και εύκολα διαθέσιμη. Το Bluetooth διατίθεται σε πολλές συσκευές όπως

smartphone, tablet κ.λπ. Η τεχνολογία του είναι εύχρηστη και κατανοητή και ως εκ τούτου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το ενσωματωμένο σύστημα είναι συνδεδεμένο με συσκευές στο έξυπνο σπίτι και είναι έτοιμο να λάβει έλεγχο μέσω ενός δέκτη Bluetooth. Οποιαδήποτε συσκευή με δυνατότητα Bluetooth (συνήθως χρησιμοποιούμε smartphone) είναι συνδεδεμένη με αυτό το ενσωματωμένο σύστημα και στέλνει εντολή για τον έλεγχο της οικιακής συσκευής. Για τη σύνδεση του smartphone με τις έξυπνες συσκευές στο σπίτι χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες εφαρμογές που είναι δωρεάν και εύκολα διαθέσιμες στο διαδίκτυο.

Το κύριο πλεονέκτημα της Bluetooth τεχνολογίας είναι ότι είναι εύκολα διαθέσιμη και προσιτή στον περισσότερο κόσμο. Καταναλώνει πολύ λιγότερη ισχύ μπαταρίας και απαιτεί λιγότερη ισχύ για επεξεργασία. Οι συγχρονισμένες συσκευές Bluetooth δεν χρειάζονται σαφή οπτική επαφή μεταξύ τους και οι πιθανότητες παρεμβολής άλλων ασύρματων δικτύων στο Bluetooth είναι πολύ χαμηλές. Το μειονέκτημα του Bluetooth είναι ότι η χρήση της μπαταρίας κατά τη διάρκεια μιας μεταφοράς είναι αμελητέα, αλλά εάν το Bluetooth διατηρείται όλη την ημέρα, τότε η απώλεια μπαταρίας είναι σημαντική και εξαιτίας αυτού καταναλώνει αναπόφευκτα την μπαταρία αυτών των συσκευών και μειώνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Άλλο ένα μειονέκτημα του Bluetooth είναι ότι η ασφάλεια αν και είναι σχετικά καλή, εντούτοις είναι πολύ καλύτερη στην τεχνολογία υπέρυθρων.

Ένα παράδειγμα χρήσης της τεχνολογίας Bluetooth Low Energy για την αποτελεσματική διαχείριση των συσκευών ενός έξυπνου σπιτιού, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας, παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.3:



Εικόνα 1.3:Σύνδεση έξυπνων συσκευών μέσω Bluetooth Low Energy (BLE)

1.3 Έξυπνα Σπίτια και Έξυπνες Συσκευές

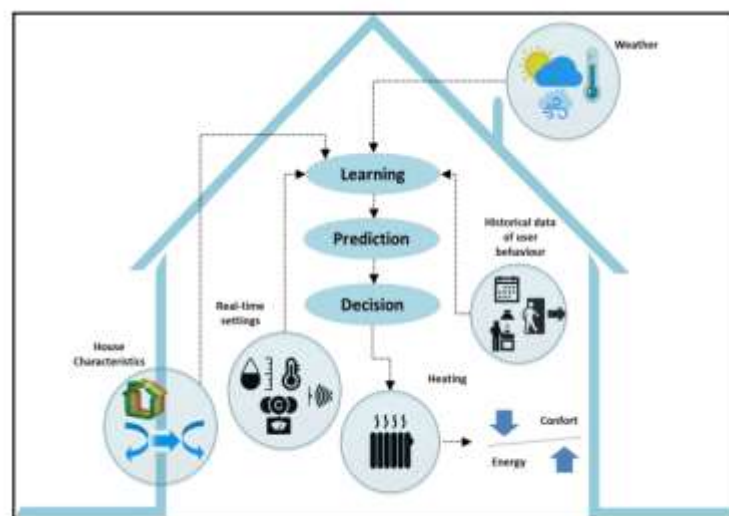
Η δαπάνη της ενέργειας που καταναλώνουν καθημερινά οι συσκευές θέρμανσης και φωτισμού, καθώς και οι διάφορες άλλες ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά σπίτια είναι πολύ μεγάλη και θα μπορούσε να μειωθεί. Η κατάλληλη διαχείριση των συσκευών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται, με πολύ σημαντικά τόσο οικονομικά, όσο και περιβαλλοντικά οφέλη. Οι τεχνολογίες του IoT προσφέρουν μία αποτελεσματική και αξιόπιστη λύση στο πρόβλημα αυτό. Παρακάτω ακολουθεί μία επισκόπηση των έξυπνων συσκευών που προσφέρουν μια σημαντική λύση στο εν λόγω πρόβλημα και των δυνατοτήτων τους.

1.3.1 Έξυπνος Θερμοστάτης

Δεδομένου ότι η θέρμανση είναι ο κύριος καταναλωτής ενέργειας σε ένα σπίτι, είναι προφανές ότι ο έξυπνος θερμοστάτης είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό στο σύστημα του έξυπνου σπιτιού. Τα τελευταία χρόνια, η αγορά των έξυπνων θερμοστατών έχει γνωρίσει σημαντική άνθιση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι έξυπνων θερμοστατών. Μερικοί, που ονομάζονται «Θερμοστάτες Επικοινωνίας», παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της σύνδεσης στο Διαδίκτυο και του ελέγχου τους με τηλεχειριστήριο. Άλλοι θερμοστάτες προσαρμόζουν τη λειτουργία τους σε πραγματικό και ανάλογα με τη χρήση τους, μέσω πληροφοριών που αποστέλλονται

από αισθητήρες (αισθητήρες παρουσίας, μετεωρολογικός σταθμός, σύστημα GPS κ.λπ.). Ακόμα, ορισμένοι έξυπνοι θερμοστάτες μαθαίνουν αυτόματα τις συνήθειες διαβίωσης των κατοίκων προκειμένου να βελτιστοποιήσουν το πρόγραμμα θέρμανσης. Στην ουσία, σε αντίθεση με τον προγραμματιζόμενο θερμοστάτη που ρυθμίζει τη θερμοκρασία σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα, ο έξυπνος θερμοστάτης προσαρμόζει τη λειτουργία του ανάλογα με το περιβάλλον χρήσης.

Σε γενικές γραμμές, ένας έξυπνος θερμοστάτης βασίζεται σε μια προηγμένη μέθοδο ελέγχου που βελτιστοποιεί τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης με βάση πληροφορίες του περιβάλλοντος όπως η τοποθεσία της κατοικίας, οι δραστηριότητες των κατοίκων, οι καιρικές μεταβολές και τα θερμικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (Εικόνα 1.4). Η δυσκολία που αντιμετωπίζουν αυτά τα συστήματα θέρμανσης έγκειται στο σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αλληλεπίδραση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου άνεσης του χρήστη.



Εικόνα 1.4:Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του έξυπνου Θερμοστάτη (uop.gr)

Ένας από τους βασικούς λόγους για την εγκατάσταση ενός συστήματος έξυπνου θερμοστάτη είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Οι έξυπνοι θερμοστάτες, όταν προγραμματίζονται και χρησιμοποιούνται σωστά, οδηγούν στη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας σημαίνει ότι μειώνονται οι εκπομπές άνθρακα και αφήνεται μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα. Ο έξυπνος θερμοστάτης συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των μεταβολών της θερμοκρασίας σε σχέση με τους χειροκίνητους θερμοστάτες.

1.3.2 Έξυπνος Φωτισμός

Ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού με αισθητήρες πληρότητας που τοποθετούνται στα φωτιστικά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την πληρότητα και την κατανομή φωτός στον εσωτερικό χώρο. Ένας αισθητήρας πληρότητας σε κάθε φωτιστικό παρέχει πληροφορίες σχετικά με την παρουσία και τη θέση του χρήστη. Αυτές οι πληροφορίες πληρότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργοποίηση των φωτιστικών, παρέχοντας φωτισμό όταν και όπου χρειάζεται. Επιπλέον, οι αισθητήρες φωτός στα φωτιστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή της ποσότητας του τεχνητού φωτός σύμφωνα με την ποσότητα του διαθέσιμου φωτός της ημέρας έτσι ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού και να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συνολική φωτεινότητα. Η χρήση των έξυπνων φωτιστικών που χρησιμοποιούν τέτοιες πληροφορίες ανίχνευσης για την παροχή τοπικού φωτισμού καθιστά δυνατή την πραγματοποίηση σημαντικής εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα, υψηλά επίπεδα φωτισμού μπορούν να προσφερθούν στις περιοχές του σπιτιού που υπάρχουν άτομα, χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού που προσφέρονται σε περιοχές με αραιή δραστηριότητα, ενώ τα φωτιστικά μπορεί να απενεργοποιηθούν εντελώς, εάν σε ένα χώρο δεν υπάρχουν άνθρωποι για τουλάχιστον ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι, πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας, τα συστήματα έξυπνου φωτισμού οδηγούν και σε σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων.

1.3.3 Έξυπνη Κουζίνα

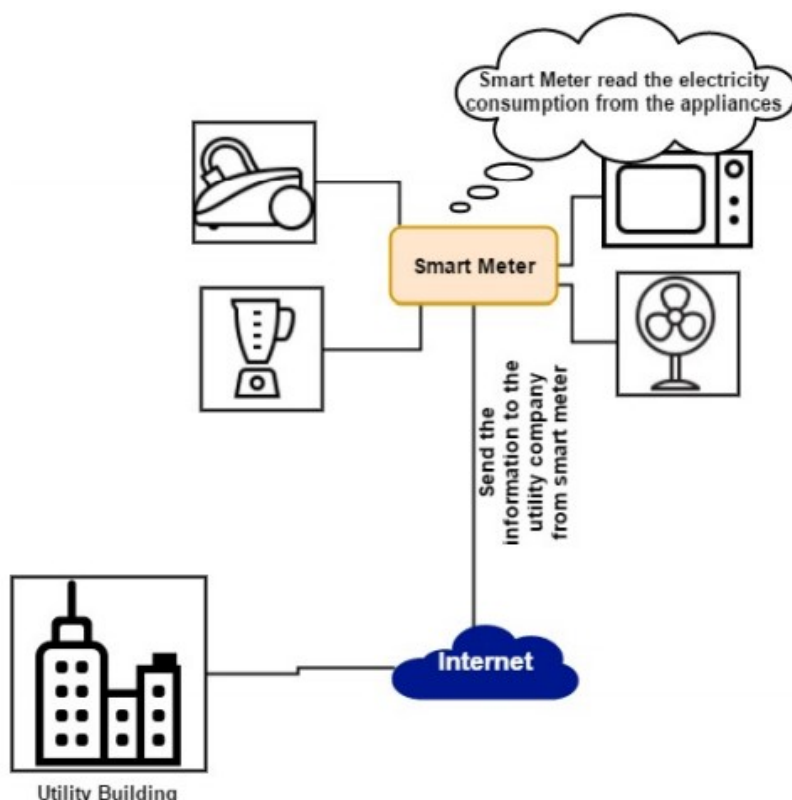
Οι εργασίες της κουζίνας και οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε αυτήν, αντικατοπτρίζουν τις απαιτήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να σχεδιαστεί μια έξυπνη κουζίνα με τα κατάλληλα εξαρτήματα για το εκάστοτε σπίτι, όπως αυτά που αφορούν την αποθήκευση, προετοιμασία, μαγείρεμα, φαγητό και την προσβασιμότητα στους χώρους της κουζίνας. Οι έξυπνες κουζίνες, ελαχιστοποιούν κάθε επιπλέον κίνηση και, στο μεταξύ, επικεντρώνονται στην προσαρμογή και την ευελιξία, ώστε να είναι καλά σχεδιασμένες και καλά τοποθετημένες σε οποιονδήποτε χώρο, που δεν πρέπει απαραίτητα να είναι μεγάλος. Η υλοποίησή της σε έναν χώρο διαβίωσης (έξυπνο σπίτι) είναι το πρωταρχικό κλειδί από την άποψη της ανάπτυξης της τεχνολογίας της έξυπνης κουζίνας. Τα πλεονεκτήματα που αποκομίζουν οι

χρήστες της είναι βαρύνουσας σημασίας και αποτελούν ένα βασικό κίνητρο προκειμένου οι άνθρωποι να στραφούν σε αυτές. Αυτά αφορούν κυρίως την ασφάλεια, την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, καθώς και την πιο αποτελεσματική και εύκολη χρήση του χώρου και των συσκευών της κουζίνας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης που συνδυάζει τα παραπάνω αποτελεί η περίπτωση που ο χρήστης της έξυπνης κουζίνας ξεχάσει ένα μάτι της κουζίνας ανοιχτό και φύγει από το σπίτι. Στην περίπτωση αυτή, η έξυπνη συσκευή, με χρήση αισθητήρων και κατάλληλου προγραμματισμού, θα αντιληφθεί την παρατεταμένη χρονική περίοδο λειτουργίας της και την πιθανή απουσία μαγειρικού σκεύους, με αποτέλεσμα να δώσει αυτοματοποιημένη εντολή για την διακοπή της λειτουργίας της. Έτσι, μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος να προκληθεί κάποιο μαγειρικό ατύχημα στο χώρο της έξυπνης κουζίνας, ενώ παράλληλα εξοικονομούνται ενέργεια, χρόνος και χρήματα, μέσω της πιο αποτελεσματικής διαχείρισης της διαδικασίας του μαγειρέματος.

1.4 Έξυπνα σπίτια και έξυπνοι μετρητές

Οι έξυπνη μετρητές συνδυάζουν μια ηλεκτρονική συσκευή με ψηφιακούς τρόπους σύνδεσης. Ένας έξυπνος μετρητής μετράει ηλεκτρονικά την ενεργειακή κατανάλωση του έξυπνου σπιτιού (καταναλωτή) και πιθανώς και άλλες παραμέτρους σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μεταδίδει τις μετρήσεις σε ένα δίκτυο επικοινωνίας ώστε να μεταφερθούν στον επόμενο μετρητή ή απευθείας στον πάροχο ενέργειας. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να μοιραστούν με άλλες συσκευές ενημερώνοντας τους καταναλωτές σχετικά με την ενεργειακή τους κατανάλωση και με τα σχετικά κόστη. Οι τύποι των έξυπνων μετρητών διαχωρίζονται ανάλογα με συνδυασμό των χαρακτηριστικών τους ως προς την ικανότητα αποθήκευσης των δεδομένων του μετρητή, τον τύπο επικοινωνίας με άλλες συσκευές και τον τύπο επικοινωνίας με τον πάροχο ενέργειας. Στις περισσότερες χώρες δεν υπάρχουν κατάλληλες απαιτήσεις για την λειτουργία των έξυπνων μετρητών. Παρόλα αυτά, ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας θέτει παραμέτρους σύγκρισης έξυπνων μετρητών όπως η διάρκεια των χρονικών διαστημάτων μέτρησης ή την ανάλυση του χρόνου για την μέτρηση της άεργου ισχύος ξεχωριστά από την κατανάλωση. Επιπλέον μια σημαντική παράμετρος είναι ακρίβεια μέτρησης που έχει σημαντικό ρόλο στη

κοστολόγηση, η οποία γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61036 προκειμένου να διατηρείται μια ενιαία ακρίβεια στη μέτρηση των δεδομένων. Τα μετρούμενα δεδομένα μπορούν να μείνουν αποθηκευμένα για μέρες ή εβδομάδες πριν να μεταφερθούν στο επόμενο σύστημα μέτρησης ή στον πάροχο.



Εικόνα 1.5: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας των έξυπνων μετρητών (researchgate.net)

Τα συστήματα μέτρησης εξελίσσονται μέρα με την μέρα, έτσι τα προηγμένα συστήματα μέτρησης είναι αρκετά διαφορετικά από τα παραδοσιακά. Ένα προηγμένο σύστημα μέτρησης αποτελείται από ένα δίκτυο ενσωματωμένων τεχνολογιών και εφαρμογών συμπεριλαμβανομένου έξυπνους μετρητές, δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network-WAN), σύστημα διαχείρισης πληροφοριών (Meter Data Management Systems-MDMS) πλατφόρμες λογισμικού κ.α. Τέλος, στα συστήματα διαχείρισης πληροφοριών γίνεται η επικαιροποίηση των δεδομένων, η επιπλέον επεξεργασία των μετρήσεων όταν χρειάζεται και η βεβαίωση ότι οι μετρήσεις είναι ακριβείς και ολοκληρωμένες.

1.5 Η Ενσωμάτωση των Έξυπνων Σπιτιών στη Καθημερινότητα των Χρηστών

Στην ουσία, τα έξυπνα σπίτια αναπτύχθηκαν κατά κύριο λόγο ως ιδέα και αργότερα κατασκευάστηκαν για την αυτόματη αντιμετώπιση των καθημερινών αναγκών των ηλικιωμένων και χρηστών με αναπηρία. Ομοίως, με τις τρέχουσες παγκόσμιες ατζέντες για την επίτευξη βιώσιμου αστικού μέλλοντος, τα έξυπνα σπίτια έχουν γίνει όλο ένα και περισσότερο συνυφασμένα με προηγμένες βιώσιμες τεχνολογίες. Πιο πρόσφατα, άλλοι χρήστες έχουν επίσης δείξει ενδιαφέρον να ζήσουν σε τέτοια εξαιρετικά αυτοματοποιημένα σπίτια. Ωστόσο, μπορεί να υποστηριχθεί ότι εκεί είναι μια βασική ανάγκη για τα έξυπνα σπίτια να διασφαλίσουν τη συμφωνία μεταξύ του προγραμματισμού της ζωής, τον τρόπο ζωής των κατοίκων και τους αισθητήρες των ενσωματωμένων έξυπνων τεχνολογιών. Επίσης, τα έξυπνα σπίτια θα πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζονται συνεχώς στις γρήγορες τεχνολογικές αλλαγές και τις ανάγκες των κατοίκων.

Οι Stringer, M., Fitzpatrick, G., Harris, E. [6], εξέφρασαν, ακόμα, παρόμοια ανησυχία και τόνισαν ότι η εφαρμογή των προχωρημένων τεχνολογιών δεν πρέπει να δημιουργεί την αίσθηση στον χρήστη ότι βρίσκεται εκτός ελέγχου. Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο σε αυτόν τον τομέα είναι η ικανότητα των ενσωματωμένων έξυπνων τεχνολογιών να είναι κατανοητές προς τους χρήστες, έτσι ώστε αυτοί να μην χρειάζεται να κατακτήσουν κάποια περίπλοκη γνώση για τη δυνατότητα χρήσης των διαθέσιμων συσκευών [7]. Επιπλέον, οι ευφυείς τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα σπίτια πρέπει να είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμες και να μπορούν να εξελιχθούν έτσι ώστε να προσαρμόζονται σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες, απαιτήσεις και προτιμήσεις των επιβατών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Οι έξυπνοι μετρητές (Smart Meters-SMs) συλλέγουν λεπτομερή δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης από τους καταναλωτές και τα αναφέρουν στον πάροχο υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, στο λειτουργικό κέντρο και σε άλλες οντότητες τρίτων στο Έξυπνο Δίκτυο Διανομής (Smart Grid Network-SGN). Έως και 800 εκατομμύρια SM αναμένεται να εγκατασταθούν παγκοσμίως έως το 2023 ως μέρος του SGN [8] και οι πληροφορίες που συλλέγονται από αυτά τα SM θα είναι επωφελείς για διάφορες λειτουργίες όπως παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, ανίχνευση βλαβών, χρόνος χρησιμοποίησις και χρέωση, εξισορρόπηση φορτίου, απόκριση ζήτησης, αυτοθεραπεία[9], [10] και έλεγχος της αιχμής [11],[12]. Παρά τη χρησιμότητα, η συλλογή λεπτομερών πληροφοριών δημιουργεί ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, ιδίως από την άποψη του καταναλωτή. Μια κοινή απειλή απορρήτου είναι η εξαγωγή ιδιωτικών πληροφοριών σχετικά με έναν καταναλωτή με την παρακολούθηση των δεδομένων καθώς περνούν από το SGN (smart grid network). Μια άλλη πιθανή απειλή είναι η κατάχρηση δεδομένων από την εταιρεία κοινής ωφέλειας. Η εταιρεία θα μπορούσε να δημοσιεύσει ή ακόμη και να πουλήσει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας που έχει συλλέξει από τους πελάτες της. Και στις δύο περιπτώσεις, οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάχρηση από διαφημιστικές εταιρείες, αμήχανους ιδιοκτήτες, εργοδότες ή ακόμη και stalkers. Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες προσπάθησαν να μελετήσουν τις ιδιωτικές πληροφορίες που μπορούν να συναχθούν από τα λεπτομερή δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας [13],[14]. Η έρευνα δείχνει ότι είναι δυνατό να εκτιμηθεί ο αριθμός των κατοίκων σε ένα νοικοκυριό με βάση τη συχνότητα των ενεργοποιημένων διακοπών και τον αριθμό των συσκευών που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα [15]. Κάποιος θα μπορούσε να συμπεράνει πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ένα σπίτι παρατηρώντας δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας ή ακόμη και να παρακολουθεί τη θέση ενός κατοίκου μέσα στο σπίτι με βάση τον τύπο των συσκευών που χρησιμοποιούνται [16]. Αντλώντας πληροφορίες σχετικά με τη

χρήση συσκευών, μπορεί να συναχθεί η συμπεριφορά των ανθρώπων που ζουν στο σπίτι. Για παράδειγμα, ο ενεργειακός κύκλος της τηλεόρασης συνεπάγεται την παρουσία κάποιου στο σπίτι και οι κύκλοι ενέργειας του θερμοσίφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμπεράνουν τον αριθμό των ενοίκων σε ένα σπίτι. Τα επαρκώς λεπτομερή δεδομένα επιτρέπουν ακόμη και τον προσδιορισμό του τηλεοπτικού καναλιού ή των ταινιών που παρακολουθούνται, καθώς η κατανάλωση ενέργειας της τηλεόρασης αλλάζει με την εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη της τηλεόρασης [17].

Για να ξεπεραστούν αυτές οι ανησυχίες, έχουν προταθεί πολλοί μηχανισμοί διατήρησης της ιδιωτικής ζωής, όπως η χρήση κρυπτογραφικών τεχνικών με ομοιόμορφες ιδιότητες για τη συγκέντρωση δεδομένων, παραμόρφωση των δεδομένων SM με προσθήκη τυχαίου θορύβου και χρήση μεγάλων μπαταριών για την «ισοπέδωση» της εξόδου από τα SM.

Παρόλο που έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες για το σχεδιασμό μηχανισμών διαταραχής έξυπνων μετρητών δεδομένων (SDPM), υπήρξε πολύ περιορισμένη έρευνα για τον ποσοτικό προσδιορισμό της ιδιωτικής ζωής που παρέχεται από τέτοιους SDPM. Ο Sankar κ.ά. πρότειναν ένα γενικό πλαίσιο για μοντελοποίηση ιδιωτικότητας και χρησιμότητας των δεδομένων SM που έχουν εκδοθεί. Ωστόσο, το μοντέλο τους αφαιρεί συγκεκριμένους μηχανισμούς διαταραχής και τεχνικές συμπερασμάτων και θεωρεί έναν πολύ ικανό αντίπαλο με μεμονωμένη πρόσβαση δεδομένων σε επίπεδο συσκευής. Χρησιμοποιούν Hidden Markov Models για να αναπαραστήσουν δεδομένα έξυπνου μετρητή, όπου η κρυφή κατάσταση είναι οι πληροφορίες της συσκευής. Λαμβάνοντας συνθήματα από προσπάθειες για ποσοτικοποίηση της ιδιωτικής ζωής σε διάφορους άλλους τομείς, όπως υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας, βάσεις δεδομένων [18], πρωτόκολλα ανωνυμίας [12] και RFID [19], αντιλαμβανόμαστε την ανάγκη ενοποίησης και πρακτικό πλαίσιο για τη μέτρηση και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων SDPM.

Οι υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών είναι απαραίτητα στοιχεία στην παρούσα κοινωνία και κάθε είδους δυσλειτουργία μπορεί να έχει οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, θα εστιάσουμε σχετικά με την υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με αλλαγές και προκλήσεις, λόγω της έλλειψης ενέργειας και της προσαρμογής στις τρέχουσες

ενεργειακές τεχνολογικές εξελίξεις και προόδους. Σύμφωνα με τους Verbon, Beemsterboer, & Sengers [20], τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) θα συνθέτουν ως νέο φορτίο στο ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο αναμένεται να διπλασιάσει την τρέχουσα μέση ηλεκτρική ζήτηση και να αντικατοπτρίσει απίθανη στροφή σε μια πλήρως ηλεκτρική κοινωνία. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε νέα οδηγίες με στόχο 20/20/20, συμπεριλαμβανομένης μείωσης 20% εκπομπών, αύξηση 20% στην ανανεώσιμη παραγωγή και 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης έως το 2020. Σε σύγκριση με τους σημερινούς συγκεντρωτικούς μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι πηγές είναι αποκεντρωμένες, ποικίλλουν σε χωρητικότητα και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξομειώνεται με βάση τις εποχικές καιρικές συνθήκες [21]. Επιπλέον το η μέγιστη χωρητικότητα του δικτύου απαιτείται μόνο στο 5% κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης, ως αποτέλεσμα του τρόπου χρήσης των καταναλωτών [22]. Η μείωση της μέγιστης χρήσης θα αποτρέψει την επέκταση του δικτύου και μπορεί να θεωρηθεί ως μείωση των εκπομπών, που είναι ένας από τους στόχους των ευρωπαϊκών οδηγιών. Ως εκ τούτου, η επιτυχής ενσωμάτωση της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στο δίκτυο απαιτεί προβλεψιμότητα αποφύγετε την κατάρρευση, η οποία εγγυάται την αξιοπιστία του δικτύου. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στο ο ηλεκτρικός μετρητής εισήγαγε τον έξυπνο μετρητή, επομένως, η ευφυΐα θα προστεθεί στο ηλεκτρική υποδομή (δίκτυο). Η προσθήκη ευφυΐας στο πλέγμα σχετίζεται ως έξυπνο δίκτυο [23], [20]. Η έξυπνη μέτρηση είναι μια τεχνικά εφικτή λύση, σύμφωνα με την οποία ένας έξυπνος μετρητής - ένας έξυπνος μετρητής - εγκαθίσταται σε ένα οικιστικό σπίτι. Οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν την παρακολούθηση της χρήσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο που διευκολύνει την καλύτερη διαχείριση του δικτύου (απόκριση ζήτησης). Επιπλέον, ο απομακρυσμένος περιορισμός της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και η διασύνδεση με τις οικιακές συσκευές δικτύου (διαχείριση της πλευράς ζήτησης). Αυτές οι λειτουργίες των έξυπνων μετρητών θα πρέπει να αντιμετωπίζουν το ζητήματα που σχετίζονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, οι έξυπνοι μετρητές θα πρέπει να επιτρέπουν στους τελικούς χρήστες να αξιολογούν την καταναλωτική τους συμπεριφορά και να αυξάνουν την αποδοτικότητά τους. Αυτές οι λειτουργίες είναι τα κύρια συστατικά για

την εφαρμογή ενός συστήματος έξυπνου δικτύου, τα οποία υπόσχονται βιώσιμες δυνατότητες μετάδοσης και παραγωγής για το δίκτυο.

Σύμφωνα με τους Verbongetal., η πορεία ανάπτυξης του έξυπνου δικτύου ποικίλλει σημαντικά από το ευρωπαϊκό υπερδίκτυο σε τοπικά χαλαρά συνδεδεμένα μικροδίκτυα και όλα αυτά τα μονοπάτια είναι τεχνολογικά εφικτά [20]. Ωστόσο, τόνισαν ότι η προθυμία των τελικών χρηστών να αποδεχτούν αλλαγές στα σπίτια τους και την καθημερινή ρουτίνα δεν θα διαμορφώσει μόνο το έξυπνο δίκτυο, αλλά θα επηρεάσει επίσης τις πιθανότητες επιτυχούς εφαρμογής. Για αυτήν την αναζήτηση, οι τελικοί χρήστες παραπέμπονται σε μεμονωμένους καταναλωτές σε ένα νοικοκυριό με έξυπνο μετρητή.

2.2 Έξυπνος μετρητής με την χρήση της αλυσίδας Markov

Στο πλαίσιο μας, μοντελοποιούμε τα δεδομένα SM και λαμβάνοντας υπόψη ότι το ο αντίπαλος μπορεί να δει μόνο τα παρατηρούμενα δεδομένα. Ιδανικά, το SM και τα δεδομένα του θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν ως ένα κρυφό μοντέλο Markov[24] όπου κάθε κατάσταση θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί ως ένας από τους συνδυασμούς συσκευών που χρησιμοποιούνται από τον πελάτη. Δυστυχώς, ο αντίπαλός μας δεν μπορεί να κατασκευάσει ένα τέτοιο μοντέλο, καθώς δεν έχει καμία γνώση για τις συσκευές που έχει ο χρήστης και δεν μπορεί να το συσχετίσει παρατηρημένα δεδομένα με τη μετάβαση κατάστασης των συσκευών. Μια τέτοια υπόθεση μας κάνει μοντέλο πιο πρακτικό, καθώς δεν μπορούν όλοι οι αντίπαλοι να έχουν πρόσβαση σε τέτοιες λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τον χρήστη. Κατά συνέπεια, μοντελοποιούμε τα δεδομένα έξυπνου μετρητή D, ως διακριτή σειρά n Markov αλυσίδα, όπου η παρούσα κατάσταση του συστήματος μπορεί να περιγραφεί πιθανολογικά χρησιμοποιώντας n προηγούμενες καταστάσεις. Κάθε κατάσταση στο μοντέλο μας αντιπροσωπεύει μια τιμή κατανάλωσης ενέργειας που βρίσκεται σε μια περιοχή που ανήκει στο σύνολο $L = \{l_1, l_2, \dots, l_N\}$. Κάθε στοιχείο l_i του συνόλου L δηλώνει ένα εύρος τιμών ισχύος. Ο χρόνος χωρίζεται σε διακριτές στιγμές και το σύνολο των στιγμών που εξετάζεται είναι $T = \{1, 2, \dots, T\}$. Η λεπτομέρεια όσον αφορά τα επίπεδα ισχύος και το χρόνο εξαρτάται από την ακρίβεια που επιθυμεί ο χρήστης του πλαισίου. Οι έξυπνοι μετρητές συλλαμβάνουν δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας

σε στιγμές χρόνου στο T . Η ακολουθία των πραγματικών τιμών κατανάλωσης ενέργειας για έναν χρήστη είναι ένα διάνυσμα μεγέθους $T = D(d(1), d(2), \dots, d(T))$.

Ένα μοντέλο Markov χαρακτηρίζεται ως εξής:

- Έστω N είναι ο πεπερασμένος και μετρήσιμος αριθμός καταστάσεων στο σύστημα. Δηλώνουμε το σύνολο των καταστάσεων ως $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ και η κατάσταση τη στιγμή t αντιπροσωπεύεται από μια τυχαία μεταβλητή q_t . Κάθε κατάσταση είναι το πρότυπό μας αντιπροσωπεύει μια περιοχή ισχύος στο L .
- Η κατανομή πιθανότητας μετάβασης κατάστασης που συμβολίζεται με $A = \{a_{ij}\}$ όπου:

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i, q_{t-3}, q_{t-2}, q_{t-1}]. \quad (2.1)$$

- Η αρχική κατανομή κατάστασης $\pi = \{\pi_i\}$ όπου:

$$\pi_i = P[q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.2)$$

Παρόλο που οι αλυσίδες Markov είναι χωρίς μνήμη εξ ορισμού, οι αλυσίδες Markov μπορούν να δημιουργηθούν σε έχουν πολλαπλή μνήμη χρονικού σταδίου. Στις αλυσίδες Markov πρώτης τάξης, η τρέχουσα κατάσταση εξαρτάται μόνο στην προηγούμενη κατάσταση, αλλά είναι δυνατόν να δημιουργηθεί αλυσίδα Markov-τάξης όπου υπάρχει κατάσταση εξαρτάται από n προηγούμενες καταστάσεις. Για παράδειγμα, σε μια αλυσίδα Markov τρίτης τάξης ($n = 3$) η τρέχουσα κατάσταση q_t θα εξαρτηθεί από τις τρεις προηγούμενες καταστάσεις q_{t-3} , q_{t-2} , q_{t-1} . Η εξίσωση παρακάτω αντιπροσωπεύει την πιθανότητα μετάβασης κατάστασης για μια αλυσίδα Markov τρίτης τάξης:

$$a_{i(j,k,l)} = P[q_t = S_i | q_{t-3} = S_j, q_{t-2} = S_k, q_{t-1} = S_l] \quad 1 \leq i, j, k, l \leq N \quad (2.3)$$

2.3 Περιγραφή ζητήματος έξυπνων μετρητών

Αρκετοί χειριστές δικτύων διανομής (DNO) ή χειριστές δικτύου και ενέργεια οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στην Ολλανδία προσέφεραν την έξυπνη εγκατάσταση μετρητή, αν και υπήρχε χαμηλή ευαισθητοποίηση και ενσωμάτωση των πελατών προς έξυπνη μέτρηση. Ο στόχος για στροφή προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρόβλημα συμφόρησης απαιτεί αποδοχή έξυπνων μετρητών από τα νοικοκυριά. Ακόμα κι αν το ρεύμα τα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα θεσμοθετημένα (κανονισμοί, πρότυπα, κλπ),

τους λείπει η υποστήριξη για προσαρμογές σε μια παραγωγή πελατών σχέση και ως εκ τούτου δεν επικεντρώνονται σε έξυπνους μετρητές. Από την άλλη πλευρά, οι ενώσεις ιδιοκτητών σπιτιού και οι Ολλανδοί στις οργανώσεις καταναλωτών ανακλήθηκαν έναντι των έξυπνων μετρητών, λόγω ανησυχιών σχετικά με το απόρρητο καθώς και πιθανές απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Ο Van de Hoven εξετάζει την έλλειψη υπόψη των ηθικών πτυχών, ιδίως των τιμών της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας ως αποτέλεσμα της αποτυχίας του έξυπνου συστήματος μέτρησης. Ως αποτέλεσμα, η διάθεση των έξυπνων μετρητών στην Ολλανδία αναβλήθηκε για αρκετά χρόνια και η υποχρεωτική διάθεση ακυρώθηκε σε εθελοντική διάθεση για έξυπνους μετρητές. Αναθεωρώντας τη διαδικασία ανάπτυξης των έξυπνων μετρητών, γίνεται σαφές ότι ο τεχνολογικός αστερισμός του έξυπνου δικτύου και η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών συζητείται μεταξύ πολιτικών και χάραξης πολιτικής, προγραμματιστών και επιτροπών τυποποίησης. Ligtnoetetal. έχει λάβει τη θέση ότι η τεχνολογική ανάπτυξη καθοδηγείται από ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερομένων. Ωστόσο, αναφέρουν ότι ενδιαφερόμενα μέρη όπως νοικοκυριά ή οργανώσεις νοικοκυριών δεν συμμετείχαν στη διαδικασία ανάπτυξης, οι οποίες είναι λιγότερο σημαντικές για τον τεχνικό σχεδιασμό αλλά ουσιαστικές για την αποδοχή της τεχνολογίας. Επιπλέον, οι Kaufmannetal. [25] υποστηρίζουν ότι μια υποχρεωτική διάθεση έχει πολλά μειονεκτήματα, επειδή οι πάροχοι ενέργειας θα επιλέξουν τη φθηνότερη έξυπνη λύση μέτρησης που τους παρέχει αξία, παραμελώντας παράλληλα τις βασικές αξίες για την αποδοχή του πελάτη, η οποία είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί μείωση 20% στην κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου, η επιλογή μιας τεχνολογίας συνεπάγεται κοινωνικές και θεσμικές διατάξεις χωρίς η τεχνολογία να μην γίνεται αποδεκτή και να μην επιτυγχάνει τους επιδιωκόμενους στόχους της ανέφερε ότι «η ανάπτυξη πολιτικών τυποποίησης που περιλαμβάνουν εθνικές προσπάθειες καθορισμού προτύπων τεχνολογίας δεν είναι μια απλή διαδικασία λήψης αποφάσεων, αυτές οι πολιτικές πρέπει να αναλυθούν από διάφορες οπτικές γωνίες». Σύμφωνα με τους Wüstenhagenetal. [26], τα εμπόδια για την επιτυχή υλοποίηση μπορούν να εκδηλωθούν ως έλλειψη κοινωνικής αποδοχής. Τα κοινωνικά και ηθικά ζητήματα μπορούν να εγκριθούν και να προβληθούν μέσω δημόσιων αξιών, οι οποίες είναι πολύτιμες για τη διαδικασία του τεχνολογικού σχεδιασμού [27]. Επομένως, η τεχνολογία έξυπνων μετρητών πρέπει να αξιολογηθεί ως προς την

αποδοχή της από κοινωνικές και ηθικές αξίες. Wüstenhagenetal. [26] έχουν σχεδιάσει την κοινωνική αποδοχή των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έχουν καθορίσει τρεις διαστάσεις: αγορά, κοινωνικοπολιτική και κοινοτική αποδοχή. Κάθε διάσταση μπορεί να συσχετιστεί με μια ομάδα προοπτικών αποδοχής μιας τεχνολογίας από ενδιαφερόμενα μέρη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναδείξει τις σημαντικές αξίες των ενδιαφερομένων για την αντίστοιχη διάσταση. Οι Taebi & Kadak [28] υποστήριξαν ότι «η αποδοχή μιας τεχνολογίας σχετίζεται περισσότερο με τον τρόπο με τον οποίο οι αξίες ιεραρχούνται και ανταλλάσσονται παρά με το πώς συλλαμβάνεται μια ενιαία τιμή». Επομένως, οι τιμές από κάθε διάσταση πρέπει να αξιολογηθούν από τα ενδιαφερόμενα μέρη της συγκεκριμένης διάστασης για να προσδιοριστεί η σημασία των αξιών στην αντίστοιχη διάσταση της αποδοχής. Η μετάφραση των σημαντικών αξιών στα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό προτύπων και πολιτικών θα παρέχει απαιτήσεις σχεδιασμού και θα ενισχύσει την αποδοχή καθώς και τη διάδοση της τεχνολογίας [29]. Η έννοια του έξυπνου δικτύου εισήχθη και υποσχέθηκε ότι θα έχει βιώσιμη μετάδοση, ενεργειακή απόδοση και μείωση [30],[23]. Ωστόσο, αποκρύπτει μια στροφή σε μια άλλη αποκεντρωμένη, διαφόρων διαστάσεων και εποχιακά κυμαινόμενη παραγωγή ενέργειας σε αντίθεση με το τρέχον ηλεκτρικό δίκτυο [21]. Ως εκ τούτου, πολλοί μελετητές αναφέρθηκαν στο έξυπνο δίκτυο ως κοινωνικό-τεχνικό σύστημα και στον έξυπνο μετρητή ως τον βασικό του κόμβο [30],[23],[31]. Ωστόσο, αυτοί οι μελετητές δήλωσαν επίσης την έλλειψη κοινωνικής και ηθικής θεώρησης στα στάδια καινοτομίας και σχεδιασμού, γεγονός που οδήγησε στην κοινωνική απόρριψη των έξυπνων μετρητών στην περίπτωση των Κάτω Χωρών. Ο Ligtnoet κ. ά. [23] τόνισαν ότι άλλα ενδιαφερόμενα μέρη όπως τα νοικοκυριά παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποδοχή μιας τεχνολογίας. Η αποδοχή του συστήματος έξυπνου δικτύου απαιτεί την αντιμετώπιση των κοινωνικό-ηθικών πτυχών του, επειδή το σύστημα έξυπνου δικτύου είναι ένα πολύπλοκο σύστημα προϊόντων. Επομένως, οι διακυβευόμενες τιμές για τους έξυπνους μετρητές πρέπει να εκτιμηθούν, επειδή είναι ο βασικός κόμβος του συστήματος έξυπνου δικτύου. Το επίκεντρο της έρευνας είναι να αντιμετωπίσει κοινωνικά και ηθικά ζητήματα για την αποδοχή έξυπνων μετρητών εντοπίζοντας τις αξίες που διακυβεύονται για την κοινωνική αποδοχή των έξυπνων

μετρητών, καθώς και την κατηγοριοποίηση και την ιεράρχησή τους σύμφωνα με τις διαστάσεις αποδοχής.

2.4 Η έννοια της έξυπνης μέτρησης στις κάτω χώρες

Σε αυτήν την ενότητα θα περιγραφεί η έννοια της έξυπνης μέτρησης, η εφαρμογή της και η δομή της αγοράς στις Κάτω Χώρες. Μέσω αυτού, θα επισημανθούν οι σημαντικοί ενδιαφερόμενοι φορείς για την ολλανδική υπόθεση.

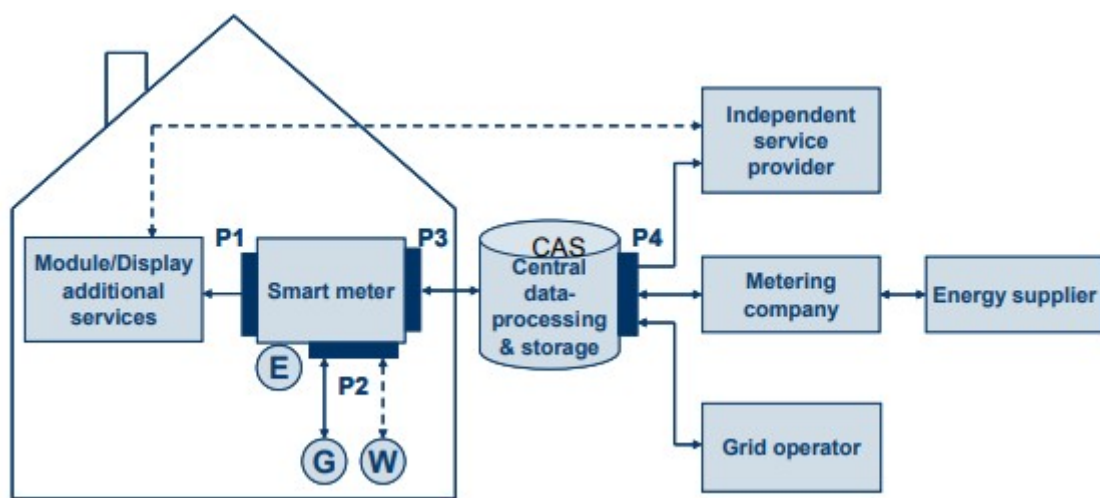
Έξυπνοι μετρητές είναι εγκατεστημένοι σε ένα νοικοκυριό για να μετρήσουν από απόσταση την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας μαζί με τους μετρητές αερίου, θερμότητας και νερού μπορούν να διασυνδεθούν σε ένα μεγάλο δίκτυο που προσφέρει δυνητική αξία για την εξοικονόμηση ενέργειας και άλλες υπηρεσίες που σχετίζονται με την ενέργεια. Σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς μετρητές, ο έξυπνος μετρητής μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες, όπως απομακρυσμένη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των ενεργειακών συνδέσεων και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου μετρητή και του παρόχου υπηρεσιών.

Το Ολλανδικό Ινστιτούτο Κανονικοποίησης NEN διατύπωσε τις ακόλουθες απαιτήσεις (NTA 8130) για τον έξυπνο μετρητή στην Ολλανδία:

- Δημιουργία μετρήσεις απομακρυσμένου μετρητή σε περιοδική βάση, η οποία περιέχει χρήση ενέργειας και, κατά περίπτωση, την παρεχόμενη ενέργεια.
- Παρέχετε στους τελικούς χρήστες ενεργειακή χρήση σε πραγματικό χρόνο για να δημιουργήσετε ευαισθητοποίηση και υπηρεσίες εξοικονόμησης ενέργειας (διαχείριση από πλευράς ζήτησης).
- Ενεργοποίηση απομακρυσμένης ενεργοποίησης / απενεργοποίησης ή περιορισμού της ηλεκτρικής ενέργειας –
- Ενεργοποίηση ευέλικτων τιμολογίων και προπληρωμένων προσφορών ηλεκτρικής ενέργειας
- Παρακολούθηση του δικτύου διανομής και ανίχνευση απάτης - Μέτρηση της ποιότητας ισχύος από απόσταση

Μια προστιθέμενη αξία για τους τελικούς χρήστες είναι ότι μπορούν να λάβουν πληροφορίες από τον έξυπνο μετρητή σχετικά με την κατάσταση χρέωσής τους. Σύμφωνα με τον Alabdulkarim [32], σύμφωνα με τους συμβατικούς μετρητές, οι

καταναλωτές χρεώνονταν με βάση τις κατά προσέγγιση εκτιμήσεις που εξισορροπήθηκαν στο τέλος του έτους. Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να παρέχουν ακριβέστερη χρέωση, ανάλογα με την περιοδική ανάγνωση μετρητών. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό από τους έξυπνους μετρητές για τους τελικούς χρήστες είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο νοικοκυριό. Επιπλέον, οι έξυπνοι μετρητές διευκολύνουν την εναλλαγή μεταξύ προμηθευτή ενέργειας, καθώς ο έξυπνος μετρητής επιτρέπει τη μετάδοση της ένδειξης του μετρητή ανά πάσα στιγμή. Στην Εικόνα 2.1 απεικονίζεται την έννοια της έξυπνης μέτρησης σε ένα νοικοκυριό στην Ολλανδία.



Εικόνα 2.1: Η βασική ιδέα του smart metering (research gate.net)

2.5 Παροχή κινήτρων και συστήματος έξυπνων μετρητών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει διάφορες οδηγίες (2005/89/ΕΚ, 2006/32/ΕΚ, 2009/72/ΕΚ) για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των τελικών χρηστών, την εξοικονόμηση και τον ενεργό ρόλο στην αγορά παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η διασφάλιση των αναγκών της υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά εξακολουθεί να διευκολύνει την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η έξυπνη μέτρηση αναφέρθηκε ως κλειδί για την επίτευξη αυτών των στόχων και τα ευρωπαϊκά κράτη ήταν υπεύθυνα για την ανάπτυξη 80% έως το 2020 [33]. Οι ευρωπαϊκές οδηγίες για τους έξυπνους μετρητές εφαρμόστηκαν από κάθε κράτος σύμφωνα με τα κίνητρα και τους στόχους τους. Για τις Κάτω Χώρες, τα κύρια κίνητρα ήταν η βελτίωση της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ανταγωνιστικότητα, διαφάνεια), η εξάλειψη της περαιτέρω επέκτασης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η βελτίωση της ενεργειακής

απόδοσης (προστασία του περιβάλλοντος) και η βελτίωση της διαχείρισης του δικτύου (εντοπισμός απάτης, εντοπισμός διακοπών ρεύματος και βελτιωμένος σχεδιασμός ζήτησης & προσφοράς). Οι στρατηγικές διάθεσης και ανάπτυξης βασίστηκαν σε αυτά τα κίνητρα.

Η αξιολόγηση μιας στρατηγικής διάθεσης για έξυπνους μετρητές ξεκίνησε το 2004 με αρκετές ανασκοπήσεις της ανάλυσης κόστους-οφέλους. Το 2007 κυκλοφόρησε ένα έξυπνο τεχνικό πρότυπο μέτρησης (NTA 8130) από το Ολλανδικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (NEN–Nederlands Normalisatie Instituut). Επιπλέον, διατυπώθηκε μια νομοθετική πρόταση για την υποχρεωτική διάθεση έξυπνων μετρητών το 2008, δεδομένου ότι μια εθελοντική διάθεση εκτιμήθηκε από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου, τους προμηθευτές ενέργειας και τους παραγωγούς να έχουν μόνο ποσοστό υιοθέτησης 30%. Λόγω ανησυχιών για το απόρρητο, η Ολλανδική οργάνωση καταναλωτών και οι ενώσεις ιδιοκτητών σπιτιού ήταν κατά της υποχρεωτικής διάθεσης και ζήτησαν μια εθελοντική διάθεση όπου οι τελικοί χρήστες θα μπορούσαν να απορρίψουν τον έξυπνο μετρητή. Η ολλανδική ανώτερη βουλή των κοινοβουλίων ζήτησε από το Υπουργείο Οικονομικών να αλλάξει την πρόταση διάθεσης και να επιτρέψει την εκούσια διάθεση. Ως αποτέλεσμα, διατυπώθηκε η εθελοντική διάθεση με πολλές επιλογές για τους τελικούς χρήστες. Η αναπροσαρμογή της ανάλυσης κόστους-οφέλους έδειξε ότι μόνο με ποσοστό αποδοχής 80% από τους τελικούς χρήστες με τυπική ανάγνωση θα μπορούσε να επιφέρει θετική επιχειρηματική υπόθεση. Το 2010 η ολλανδική ανώτερη βουλή του Κοινοβουλίου ενέκρινε το δικαίωμα του καταναλωτή για οικειοθελή υιοθέτηση του έξυπνου μετρητή.

2.6 Η αγορά των έξυπνων μετρητών

Παραδοσιακά, οι στόχοι πολιτικής για την ολλανδική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ήταν η αξιοπιστία, η προσιτή τιμή και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Για να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα και να δημιουργηθούν περισσότερες επιλογές για τους τελικούς χρήστες, η ολλανδική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες άνοιξε προς απελευθέρωση το 2004. Μέσω αυτού, το δίκτυο διανομής των υφιστάμενων εταιρειών ενέργειας (Alliander, Enexis) διαχωρίστηκε και ανήκε στις τοπικές κυβερνητικές αρχές στις Κάτω Χώρες. Οι DNO (φορείς εκμετάλλευσης δικτύων

διανομής) είναι επομένως ρυθμιζόμενη οντότητα στην ολλανδική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο σύστημα μέτρησης, το οποίο ανήκει στην υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας, βρίσκεται κυρίως στον ρυθμιζόμενο τομέα, επειδή η λειτουργία και η διαχείριση του δικτύου είναι έργο των DNOs. Ωστόσο, η ένδειξη μέτρησης ανήκει στους προμηθευτές ενέργειας και τους τελικούς χρήστες, επομένως στην απελευθερωμένη αγορά. Το σχήμα 3 απεικονίζει τη διαίρεση διαφορετικών στοιχείων έξυπνου μετρητή σε ρυθμιζόμενες και απελευθερωμένες αγορές.

Οι συγκεντρωτές δεδομένων (DC στο σχήμα 3) διαχειρίζονται τις μετρήσεις των μετρητών από τα νοικοκυριά (υποσταθμός) και συνδέουν τα συλλεγόμενα δεδομένα με το CAS. Οι εμπλεκόμενοι φορείς της ελευθερωμένης αγοράς έχουν πρόσβαση μόνο στο CAS, ενώ το DC διαχειρίζεται από τους DNO. Σε αυτήν την ενότητα, έχουν περιγραφεί οι κύριοι παράγοντες στην περίπτωση έξυπνης μέτρησης των Κάτω Χωρών. Από τα σημεία ανάπτυξης και πολιτικής, οι εμπλεκόμενοι φορείς είναι το Υπουργείο Οικονομικών Υποθέσεων, το ολλανδικό ινστιτούτο τυποποίησης και το ολλανδικό κοινοβούλιο (ανώτερη και δεύτερη αίθουσα). Ωστόσο, οι πολιτικές και οι στρατηγικές τους ξεκίνησαν προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η Ολλανδική οργάνωση καταναλωτών και οι ενώσεις ιδιοκτητών σπιτιού είναι ενδιαφερόμενα μέρη με το ενδιαφέρον για τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών από τους έξυπνους μετρητές. Η δομή της ολλανδικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει ρυθμιζόμενα και απελευθερωμένα ενδιαφερόμενα μέρη. Οι DNO είναι ρυθμιζόμενα ενδιαφερόμενα μέρη, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη λειτουργία και τη διαχείριση του δικτύου διανομής. Οι προμηθευτές ενέργειας (λιανοπωλητές) και επίσης οι πάροχοι ενεργειακών υπηρεσιών (π.χ. HEMS) είναι ενδιαφερόμενα μέρη που ανήκουν στο τμήμα της απελευθερωμένης αγοράς. Η επόμενη ενότητα θα εξηγήσει την τεχνολογία υποδομής και την κοινωνία, αφού ο έξυπνος μετρητής είναι μια τεχνολογία υποδομής που πρέπει να γίνει αποδεκτή από την κοινωνία.

2.7 Κοινωνία και υποδομές

Η εισαγωγή και η υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας υποδομής απαιτεί κοινωνική αποδοχή λόγω των αντιληπτών κινδύνων μιας νέας τεχνολογίας. Οι τηλεπικοινωνιακές και ηλεκτρικές υποδομές αξιολογούνται ως οι πιο κρίσιμες σε

περίπτωση δυσλειτουργίας. Σύμφωνα με τους Sauter και Watson [34], ο όρος κοινωνική αποδοχή αποτελείται από την κοινωνική, η οποία αναφέρεται στην κοινωνία και τις διαφορετικές ομάδες της (καταναλωτές, παραγωγούς κ.λπ.) και αποδοχή που ποικίλλει από παθητική συγκατάθεση έως ενεργή συμμετοχή. Δηλώνουν ότι οι τεχνολογίες υποδομής όπως ολόκληρο το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν μόνο παθητική αποδοχή από τον τοπικό πληθυσμό. Ligtnoet δηλώνει ότι το κοινό μπορεί να είναι ακόμα σε θέση να κρίνει την τεχνολογία του ενεργειακού εφοδιασμού του, αλλά παραμένει αμέτοχο (παθητική συγκατάθεση). Οι έξυπνοι μετρητές από την άλλη πλευρά είναι κυρίως ορατοί στους ανθρώπους του νοικοκυριού, τραβώντας έτσι την προσοχή. Το μοντέλο αποδοχής τεχνολογίας (TAM) είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο για τη διερεύνηση της αποδοχής, αλλά δίνει έμφαση στην υιοθέτηση της τεχνολογίας από οργανωτικό πλαίσιο [35]. Ωστόσο, για την αποδοχή μιας τεχνολογίας υποδομής απαιτείται αξιολόγηση των αξιών των διαφόρων ενδιαφερομένων που εμπλέκονται στην τεχνολογία. Οι στάσεις σχετικά με μια τεχνολογία μπορούν γενικά να χωριστούν σε δημόσιες και ιδιωτικές στάσεις. η δημόσια θέση σχετικά με μια τεχνολογία υποδομής αντιπροσωπεύει τις ηθικές αξίες του πληθυσμού. Οι ιδιωτικές στάσεις από την άλλη αντιπροσωπεύουν προσωπικές ανάγκες. Ο Wüstenhagenetal [26] διαχώρισε την κοινωνική αποδοχή σε διαφορετικές διαστάσεις και όχι μόνο δημόσια αποδοχή. Ο Wolsink [36] αναφέρει ότι η κοινωνική αποδοχή δεν πρέπει να παρερμηνεύεται ως δημόσια αποδοχή, η οποία επικεντρώνεται μόνο στην κοινή γνώμη, αλλά για την επιτυχή εφαρμογή της νέας τεχνολογίας υποδομής η αποδοχή από μεμονωμένους βασικούς ενδιαφερόμενους φορείς, Master Thesis Abhilash Kizhakenath. Η κοινωνική αποδοχή των έξυπνων μετρητών, η οποία καθορίζεται ως κοινωνική αποδοχή, είναι ζωτικής σημασίας. Ο Carlman [37], ένας από τους πρώτους που είχε πρόσβαση στην κοινωνική αποδοχή, όρισε διαφορετικό τύπο αποδοχής και καθόρισε ότι η κοινωνική αποδοχή είναι πέρα από τη δημόσια αποδοχή.

2.8 Κοινωνική αποδοχή

Πολλοί μελετητές συζητούν την κοινωνική αποδοχή όσον αφορά τα αντικρουόμενα συμφέροντα μεταξύ των ομάδων ενδιαφερομένων μετά την ανάπτυξη της τεχνολογίας και κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της. Σύμφωνα με τους

Wüstenhagen, Wolsink και Börer η κοινωνική αποδοχή μιας τεχνολογίας μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαστάσεις: κοινωνικοπολιτική αποδοχή, αποδοχή κοινότητας και αποδοχή αγοράς. Οι διαστάσεις θα διευκολύνουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τα ενδιαφερόμενα μέρη που υποστηρίζουν την τεχνολογία έξυπνων μετρητών να διαμορφώσουν στρατηγικές και να σχεδιάσουν πολιτική, κανόνες και κανονισμούς σύμφωνα με τις σημαντικές αξίες για την αποδοχή των έξυπνων μετρητών. Ο στόχος της κοινωνικής αποδοχής απευθύνεται στις διαφορετικές ομάδες αποδοχής των ενδιαφερομένων μερών των σχετικών αξιών των έξυπνων μετρητών για να εξασφαλιστεί μια μακροπρόθεσμη υποστήριξη αυτών στο πλαίσιο του έξυπνου δικτύου. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να δώσουν προτεραιότητα μεταξύ της αποδοχής των αξιών στην αγορά στις πολιτικές τους καθώς και να δώσουν προτεραιότητα μεταξύ της αποδοχής των τιμών των έξυπνων μετρητών στο νοικοκυριό. Αυτές οι αξίες είναι επίσης ουσιώδεις για τα ενδιαφερόμενα μέρη από τη διάσταση αποδοχής της αγοράς και πρέπει να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό τους για έξυπνο σύστημα μέτρησης, το οποίο θα προωθήσει ένα υψηλό ποσοστό υιοθέτησης για έξυπνους μετρητές. Η κοινωνική αποδοχή των έξυπνων μετρητών μπορεί να επιτευχθεί αντιμετωπίζοντας τις αξίες κάθε διάστασης αποδοχής ή ομάδας ενδιαφερομένων.

2.9 Σχεδιασμός με ευαισθησία στην αξία (VSD)

Η διαδικασία δημιουργίας αξίας από ένα τεχνικό τεχνούργημα, σύστημα ή υπηρεσία αποτελείται από διάφορα βήματα, από το σχεδιασμό και την ανάπτυξη έως την παραγωγή, τις πωλήσεις και τις μεταπωλήσεις. Διαφορετικοί ενδιαφερόμενοι συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία με διαφορετικές απόψεις σχετικά με το είδος της αξίας που δημιουργείται: ο μηχανικός σχεδιασμού δίνει έμφαση στις τεχνικές αξίες, οι διευθυντές στις νομισματικές αξίες που σημαίνει συνεργαζόμενο κέρδος, οι τελικοί χρήστες μπορεί να εκτιμήσουν την αξία που ικανοποιεί τις ανάγκες τους και επιτυγχάνει τους στόχους τους, και οι κυβερνήσεις κοιτούν τις δημόσιες και κοινωνικές αξίες. Έτσι, ο διαχωρισμός της κοινωνικής αποδοχής για την τεχνολογία των έξυπνων μετρητών σε διαστάσεις είναι απαραίτητος για να ληφθούν υπόψη οι απόψεις των διαφορετικών ενδιαφερομένων για τις αξίες. Επιπλέον, ο σχεδιασμός δεν περιλαμβάνει μόνο λειτουργικές απαιτήσεις, αλλά και ηθικές αξίες και

σχεδιαστές και ο σχεδιασμός τους θα λογοδοτεί σε περίπτωση αποτυχίας με τη μορφή κοινωνικής απόρριψης, όπως συνέβη στην περίπτωση έξυπνων μετρητών στην Ολλανδία [38], [31]. Ο Van de Poel [39] υποστηρίζει ότι μια τεχνολογία δεν είναι ουδέτερη ως προς την αξία. Επιπλέον, στη διαδικασία σχεδιασμού μιας νέας τεχνολογίας, ενσωματώνεται μια προβλεπόμενη αξία από τον σχεδιαστή, η οποία δίνει έμφαση ή υπονομεύει ορισμένες αξίες [27]. Η αυξημένη επίγνωση των αξιών στο σχεδιασμό αύξησε την επιθυμία να ελέγξει και να επηρεάσει τις αξίες στη διαδικασία σχεδιασμού. Σύμφωνα με τους Vanden Hovenetal. [38] αυτό το θέμα θα εξεταστεί στο Design for Valuesκαι θα συμβάλει στην επιτυχία, αποδοχή και αποδοχή καινοτομιών και ως εκ τούτου θα έχει επίσης οικονομικά οφέλη. Σύμφωνα με τους Dietzetal. [40] η λέξη Values προέρχεται από το λατινικό valere - το να είσαι δυνατός, να είσαι άξιος, αλλά στην καθημερινή μας γλώσσα χρησιμοποιείται με τρεις έννοιες: τι αξίζει κάτι, απόψεις για αυτήν την αξία και ηθική αρχή. Friedmanetal. [41] όρισε «αξία» ως «αυτό που ένα άτομο ή ομάδα ανθρώπων θεωρεί σημαντικό στη ζωή» και ότι οι αξίες δεν πρέπει να συγχέονται με γεγονότα, επειδή τα γεγονότα δεν συνεπάγονται λογικά αξία. Friedmanetal. [42] ήταν οι πρώτοι που δημιούργησαν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των ανθρώπινων αξιών στον τεχνολογικό σχεδιασμό που ονομάζεται Value Sensitive Design (VSD) [38]. Δημιούργησαν μια λίστα με 13 ανθρώπινες αξίες με ηθική σημασία, η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο σχεδιασμό [41] με βάση μια τριμερή μεθοδολογία. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει εννοιολογική έρευνα - προσδιορισμός των ενδιαφερομένων μερών που επηρεάζονται από την τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των ατόμων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία (άμεσοι ενδιαφερόμενοι φορείς) και των ατόμων που επηρεάζονται χωρίς τη χρήση της τεχνολογίας (έμμεσοι ενδιαφερόμενοι φορείς). προσδιορισμός και καθορισμός των αξιών εμπλέκεται από τη χρήση της τεχνολογίας, δηλαδή με τον ορισμό της στο πλαίσιο · εμπειρική έρευνα - όπου οι ενδιαφερόμενοι φορείς θα εξεταστούν για την κατανόηση και την εμπειρία τους σε σχέση με τις εμπλεκόμενες αξίες από την τεχνολογία. Μπορεί να είναι ποσοτικές ή/και ποιοτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην έρευνα κοινωνικών επιστημών, συμπεριλαμβανομένων παρατηρήσεων, συνεντεύξεων, ερευνών, πειραματικών χειρισμών, συλλογής σχετικών εγγράφων και μετρήσεων της συμπεριφοράς των χρηστών και της

ανθρώπινης φυσιολογίας. Οι μέθοδοι θα πρέπει να επικεντρώνονται στον τρόπο με τον οποίο τα ενδιαφερόμενα μέρη αντιλαμβάνονται την ατομική αξία ή πώς μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στην αξία. οι τεχνικές έρευνες περιλαμβάνουν το σχεδιασμό μιας νέας τεχνολογίας για την υποστήριξη συγκεκριμένων αξιών ή την ανάλυση του πώς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων τεχνολογιών υποστηρίζουν ορισμένες αξίες σε ένα πλαίσιο χρήσης. Παρόλο που το VSD είναι καλά εδραιωμένο στον τομέα της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών, συγκεκριμένα στον τομέα της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή (HCI), οι πρακτικές και οι εξελίξεις για διαφορετικές τιμές και τομείς εφαρμογών μερικές φορές είναι λίγο αποσυνδεδεμένες [38]. Το Εγχειρίδιο Ηθικής, Αξιών και Τεχνολογικού Σχεδιασμού (2015) περιέχει έρευνα βασισμένη στους Friedmanetal. [41] σχεδιασμός ευαίσθητος σε αξία, ο οποίος αναλύει τη μέθοδο, περιέγραψε κάποια μειονεκτήματα της προσέγγισης και πρότεινε βελτιώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

3.1 Λειτουργικές απαιτήσεις σχεδιασμού έξυπνου μετρητή

οι κύριες απαιτήσεις του σχεδιασμού έξυπνων μετρητών είναι οι εξής:

- Ο μετρητής ισχύος AC επιτρέπει τη μέτρηση της μονοφασικής ηλεκτρικής ενέργειας AC.
- Παράμετροι μετρητή: Ονομαστική τάση 220V, ονομαστικό ρεύμα 5A, μέγιστο τρέχον ενοίκιο 10A, μέγιστος αριθμός χωρητικότητας: 99999.99 Kwh.
- Δυνατότητα μέτρησης και εμφάνισης της τρέχουσας ισχύος RMS, τάσης και ρεύματος.
- Εμφάνιση των τρεχόντων δεδομένων, με μια λειτουργία μέτρησης χρόνου.
- Με σειριακές διεπαφές επικοινωνίας με υπολογιστή και το πληκτρολόγιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο, εύκολο στη χρήση.
- Μέτρηση εξόδου παλμού ισχύος.
- Δεν χάνει τα δεδομένα διακοπής ρεύματος.
- Μεγάλα δεδομένα και αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης.
- Γρήγορο, αποτελεσματικό και ασφαλές.

3.2 Επικοινωνία γραμμής ρεύματος (PLC)

Το PLC (Power Line Communication) σημαίνει επικοινωνία μεταφορέων γραμμής ισχύος, η οποία χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας AC. Εδώ χρησιμοποιείται για διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Ο φορέας ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων μέσω γραμμών ρεύματος. Για να διασφαλίσουμε τη σωστή χωρητικότητα του μικροελεγκτή, πρέπει να διαμορφώσουμε φορέα υψηλής συχνότητας στις γραμμές ρεύματος χαμηλής συχνότητας (50Hz) για να στείλουμε δεδομένα μέσω των ίδιων φυσικών καλωδίων. Το PLC έχει μεταβλητό εύρος ζώνης και ευέλικτο διαχωρισμό ψηφιακών και αναλογικών δεδομένων, υποστηριζόμενο με μια τρομερή ικανότητα στο σύστημα. Το φάσμα διασποράς DCSK (Differential Code Shift Keying) είναι μια σημαντική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παροχή ισχυρής επικοινωνίας.

3.3 Διαφορικός κωδικός μετατόπισης κλειδιού DCSK

Το DCSK (Differential Code Shift Keying) είναι πατενταρισμένη τεχνολογία διαμόρφωσης φάσματος Yritan. Τα τρία γραφικά απεικονίζουν τον τρόπο λειτουργίας του DCSK. Κάθε σύμβολο χωρίστηκε σε 15 bit. Το πρώτο γράφημα δείχνει το αρχικό σύμβολο χωρίς μετατόπιση με το κομμάτι της γροθιάς να παριστάνεται με "0000" σε δεκαδικό. Το δεύτερο γραφικό δείχνει όταν το πρώτο κυκλικό bit μετατοπίστηκε, το σύμβολο μετατόπισης διαβάζεται ως 0000. Το τρίτο γράφημα δείχνει όταν μετατοπίζονται 8 bits, το σύμβολο μετατόπισης θα διαβάζεται ως 1000, αυτή είναι μια ακριβής μέθοδος για τη μείωση του θορύβου που παρεμβαίνει κατά τη μετάδοση και λήψη σημάτων.

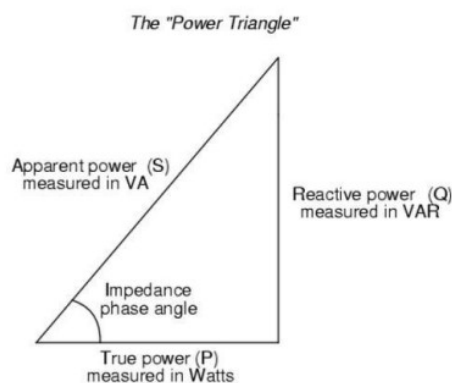
3.4 Υπολογισμός ισχύος

Ο τύπος υπολογισμού της ισχύος συνεχούς τάσης είναι:

$$P_{dc} = U_{dc} \times I_{dc} \quad (3.1)$$

, όπου P_{DC} είναι η ισχύς που μεταφέρεται μέσω της γραμμής μεταφοράς, U_{DC} είναι η τάση που εφαρμόζεται στο ζυγό τάσης της γραμμής μεταφοράς και I_{DC} είναι το ρεύμα που ρέει στη γραμμή ισχύος.

Όταν μετράμε την ισχύ μιας συσκευής, εκφράζουμε την ισχύ σε joule ανά δευτερόλεπτο. Για ισχύ AC: Με βάση την ισχύ DC, η στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς σε ένα κύκλωμα AC δίνεται από $P = U \times I$, αλλά αυτές οι ποσότητες μεταβάλλονται συνεχώς. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το τρίγωνο ισχύος για τον υπολογισμό της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος που μπορεί να αντιπροσωπεύει την ισότητα των τιμών DC (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Τρίγωνο ισχύος (riverglennapts.net)

Στον έξυπνο μετρητή, συνήθως η ηλεκτρική εταιρεία μετρά μόνο την ενεργό ισχύ σε λογαριασμούς. Οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος υποθέτουν ότι ο συντελεστής ισχύος μιας κανονικής κατοικίας είναι εντός ορίων, οπότε δεν λαμβάνουν υπόψη την φαινομενική ισχύ.

3.5 3φ μέτρηση ισχύος

Η περισσότερη ισχύς AC παράγεται και διανέμεται ως τριφασική ισχύς όπου οι ημιτονοειδείς τάσεις παράγονται εκτός φάσης μεταξύ τους. Με βάση τον νόμο του Watt μπορούμε να υπολογίσουμε την τριφασική ισχύ:

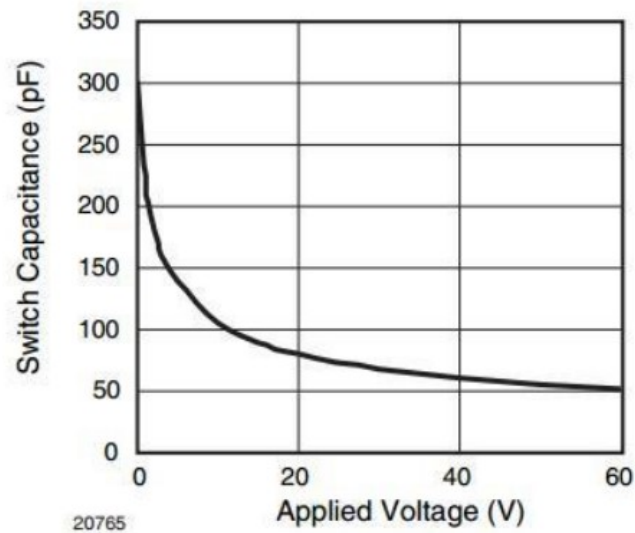
$$W = V_{avg} \times A_{avg} \times \sqrt{3} \times \cos \theta \quad (3.2)$$

όπου, W είναι η ενεργή ισχύς του 3φ συστήματος, V_{avg} είναι η μέση φασική τάση των μετρήσεων που πάρθηκαν, A_{avg} είναι το μέσο φασικό ρεύμα των μετρήσεων που πάρθηκαν και $\cos \theta$ είναι ο συντελεστής ισχύος του μετρούμενου μεγέθους.

3.6 Υλοποίηση

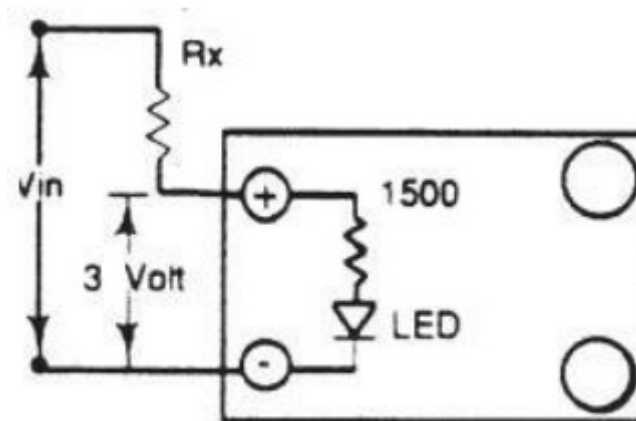
3.6.1 Ρελέ στερεάς κατάστασης

Το Solid -State -Relay (SSR) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή μεταγωγής που ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται όταν εφαρμόζεται μια μικρή εξωτερική τάση στους ακροδέκτες ελέγχου της. Το SSR αποτελείται από έναν αισθητήρα που ανταποκρίνεται σε μια κατάλληλη είσοδο και έναν μηχανισμό σύζευξης για να επιτρέψει στο σήμα ελέγχου να ενεργοποιήσει αυτόν τον διακόπτη χωρίς μηχανικές τέχνες. Αυτό το ρελέ χρησιμοποιείται για εναλλαγή AC ή DC στο φορτίο. Από την Εικόνα 3.2 μπορούμε να δούμε ότι οι μεταβολές της χωρητικότητας του διακόπτη κατά τη διάρκεια της εφαρμοζόμενης τάσης ποικίλλουν.



Εικόνα 3.2: Χωρητικότητα διακόπτη σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση (research gate.net)

Το ρελέ έχει πολύ σταθερή χωρητικότητα αφού η εφαρμοζόμενη τάση φτάνει το μέγιστο 60 βολτ. Χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το έργο για την προστασία επιπλέον ρεύματος ή τάσης για την προστασία συσκευών. Συνήθως υψηλότερες τάσεις οδηγούν σε υψηλότερο ρεύμα, αφού απαιτούνται 1,4mA για να ενεργοποιηθεί το ρελέ. Η χρήση μιας εξωτερικής αντίστασης που προστίθεται σε σειρά στην είσοδο μπορεί να μειώσει την τάση εισόδου για να ταιριάζει στο κύκλωμα εφαρμογής με σκοπό τη προστασία. Από την Εικόνα 3.3, η τάση στην είσοδο είναι περίπου 3 V.



Εικόνα 3.3: Solid State relay συσκευή (researchgate.net)

Έτσι παίρνουμε:

$$R_x = \frac{(V_{in} - 3)}{0.0014} \quad (3.4)$$

Αυτή η ασπίδα ρελέ στερεάς κατάστασης στο έργο παρείχε έλεγχο νομίσματος AC μετρητή ισχύος σε κατάσταση ακρίβειας λόγω του ελάχιστου ηλεκτρικού θορύβου. Έχει μηδενική ενεργοποίηση τάσης και μηδενική απενεργοποίηση ρεύματος, η οποία παρείχε μετρητή ισχύος για ελάχιστες ηλεκτρικές διαταραχές. Για τη γρήγορη εναλλαγή, ο χρόνος είναι μικρότερος από 100 us, γεγονός που βελτίωσε την ακρίβεια του ελέγχου AC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

4.1 Πρόγραμμα έξυπνης μέτρησης Victoria

Το έργο έξυπνης μέτρησης Victoria επιλέγεται για επίδειξη καθώς αντιμετωπίζει όλες τις ανησυχίες των καταναλωτών που συζητήθηκαν σε αυτήν την εργασία. Οι Βικτωριανοί έλαβαν εκπαίδευση καταναλωτών από το 2009, ωστόσο μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2014 αναφέρει ότι τα δύο τρίτα των Βικτωριανών δεν κατανοούν τα οφέλη που παρέχουν οι έξυπνοι μετρητές.

Αυτό το τμήμα ξεκινά με μια περιγραφή σε επίπεδο λεπτομερειών που επιτρέπει την αξιολόγηση της ικανότητας εφαρμογής των μέτρων που καθορίστηκαν νωρίτερα σε αυτή τη διατριβή. Το 2007, η COAG συνέστησε την ανάπτυξη έξυπνων μετρητών και την εισαγωγή του τιμολογίου ΤΟΥ για τη διαχείριση της αιχμής της ζήτησης σε όλη την Αυστραλία. Ο έξυπνος μετρητής Victoria κυκλοφόρησε το 2009. Το σύστημα χρησιμοποίησε κυρίως την τεχνολογία RF mesh για την επικοινωνία του. Η απορρύθμιση των τιμών ενέργειας εισήχθη επίσης για όλους τους καταναλωτές για να συμπληρώσει την έξυπνη διάθεση μετρητών. Ωστόσο, οι πελάτες έδειξαν σημαντική αντίσταση στα τιμολογιακά συστήματα ΤΟΥ. Οι ομάδες υπεράσπισης των καταναλωτών παρενέβησαν και οι πάροχοι υπηρεσιών έπρεπε να επιτρέψουν στους χρήστες να παραμείνουν στο παλιό τιμολόγιο κατ'αποκοπή, ακόμη και μετά την ανάπτυξη έξυπνων μετρητών. Η τρέχουσα κατάσταση του έξυπνου συστήματος μέτρησης στη Βικτώρια καθιερώνει την ανάγκη για φιλικές προς τον καταναλωτή λειτουργίες. Τα μέτρα που προτείνονται σε αυτήν την εργασία αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες διαφόρων τμημάτων καταναλωτών. Προσδιορίζονται χαρακτηριστικά που ωφελούν κάθε ομάδα. Ωστόσο, η επίδραση αυτών των μέτρων στο κέρδος για την επιχείρηση δεν έχει αναλυθεί ως μέρος αυτής της διατριβής. Ωστόσο, κατάλληλα επιχειρηματικά μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν στις υπηρεσίες που παρέχονται στον καταναλωτή. π.χ. μια αμοιβή για το επιχειρηματικό μοντέλο υπηρεσιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ευελιξίας στην αλλαγή προφίλ μετρητή ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

4.2 Έξυπνοι μετρητές στην Ελλάδα

Ο ελληνικός διαχειριστής συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας DEDDIE θα αντικαταστήσει περίπου 7,5 εκατομμύρια μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα με νέους, ψηφιακούς έξυπνους μετρητές. Αυτό είναι μέρος του 5ετούς σχεδίου ανάπτυξης της εταιρείας.

Το έργο αξίζει περίπου 850 εκατομμύρια ευρώ, θα χρηματοδοτηθεί εν μέρει από κονδύλια της ΕΕ και θα χρειαστούν έξι χρόνια για να ολοκληρωθεί. Προβλέπει την εγκατάσταση 7,5 εκατομμυρίων έξυπνων μετρητών για καταναλωτές σε δίκτυα χαμηλής τάσης και την ένταξή τους σε ένα νέο τηλεμετρικό σύστημα χωρητικότητας 8 εκατομμυρίων σημείων σύνδεσης.

Οι νέοι μετρητές θα παρέχουν παρακολούθηση των προτύπων και των επιπέδων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω οικιακών συσκευών ή διαδικτυακών εφαρμογών, πράγμα που θα επιτρέψει στους καταναλωτές να μετατοπίσουν πρακτικές έντασης ενέργειας σε ζώνες ώρας χαμηλότερου κόστους. Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας θα επωφεληθούν από το έργο καθώς αυτά τα νέα συστήματα θα επιτρέψουν στους προμηθευτές να διαμορφώσουν πολιτικές τιμολόγησης βάσει ζήτησης, προσφέροντας ευελιξία στους καταναλωτές για πιο ανταγωνιστικά πακέτα.

4.3 Συστήματα υψηλής αξιοπιστίας

Σε συστήματα υψηλής διασφάλισης, οι απαιτήσεις ασφάλειας και ασφάλειας είναι τόσο κρίσιμες ώστε αυτά τα συστήματα απαιτούν επίσημη απόδειξη ότι πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις. Οι αρχιτεκτονικές συστημάτων υψηλής διασφάλισης είναι ιεραρχικές αρχιτεκτονικές όπου κάθε στρώμα παρέχει μηχανισμούς ασφαλείας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το παραπάνω επίπεδο. Πάνω από αυτή την πολύ επίπεδη αρχιτεκτονική των μηχανισμών ασφαλείας, ένα μείγμα αξιόπιστων και μη αξιόπιστων εφαρμογών μπορεί να εκτελεστεί, απομονωμένα το ένα από το άλλο, σε ένα κοινό υπολογιστικό σύστημα. Το χαμηλότερο στρώμα της αρχιτεκτονικής είναι ο πυρήνας διαχωρισμού που παρέχει διαχωρισμό δεδομένων, έλεγχο ροής πληροφοριών, απολύμανση και περιορισμό ζημιών. Αυτοί οι μηχανισμοί ασφαλείας απαιτούν υποστήριξη υλικού. Ωστόσο, οι περισσότεροι εμπορικοί μικροεπεξεργαστές και μητρικές πλακέτες BACKGROUND 51 παρέχουν ήδη τις απαραίτητες δυνατότητες.

Θα επικεντρωθούμε στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή το επίπεδο εφαρμογής, αναλύοντας τα στοιχεία και τις ενότητες και την πολιτική ροής πληροφοριών που πρέπει να εφαρμοστεί για να εξασφαλιστεί ένα ασφαλές και φιλικό προς το απόρρητο SM.

4.3.1 Έξυπνοι μετρητές

Βασίζουμε την αρχιτεκτονική μας HASM στο Βρετανικό Υπουργείο Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής Smart Metering Implementation Program (SMIP), το οποίο καθορίζει τις φυσικές, λειτουργικές, διεπαφές και απαιτήσεις δεδομένων ενός Έξυπνου Μετρητικού Εξοπλισμού (ESME). Σύμφωνα με τα έγγραφα SMIP, ένα ESME πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα φυσικά συστατικά: ρολόι, αποθήκευση δεδομένων, μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή μονάδα μετρολογίας), διεπαφή δικτύου οικιακής περιοχής (HAN), διακόπτη φορτίου, γεννήτρια τυχαίων αριθμών, χρήστη διασύνδεση και φυσική διεπαφή για τον κόμβο επικοινωνίας, όπου ο κόμβος επικοινωνίας είναι φυσικά συνδεδεμένος στο ESME. Στο υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο Smart Meter (SM) αντί για ESME.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα στοιχεία, η SM πρέπει να πληροί τις ακόλουθες λειτουργικές απαιτήσεις :

- Θα πρέπει να δημιουργεί και να διατηρεί συνδέσμους επικοινωνίας με (i) το κεντρικό σύστημα, δηλαδή το back-office του Meter Responsible Party (MRP), και (ii) τοπικές συσκευές.
- Θα πρέπει να παρέχει εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα των δεδομένων που αποθηκεύονται και αποστέλλονται στο κεντρικό σύστημα ή στις τοπικές συσκευές.
- Θα πρέπει να δημιουργήσει μια καταχώριση στο αρχείο καταγραφής ασφαλείας των προσπαθειών να το θέσετε σε κίνδυνο.
- Θα πρέπει να υποστηρίζει τρόπους πίστωσης και προπληρωμής.
- Θα πρέπει να υποστηρίζει διαφορετικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας.
- Θα πρέπει να αποθηκεύει διαφορετικούς τύπους δεδομένων: (i) σταθερά δεδομένα, π.χ. αναγνωριστικά, τύπος μοντέλου, παραλλαγή. (ii) εσωτερικά δεδομένα, π.χ. διαπιστευτήρια εγκατάστασης · (iii) δεδομένα διαμόρφωσης, π.χ. ημερολόγιο χρέωσης, αρχείο καταγραφής συσκευής, διαπιστευτήρια ασφάλειας, όρια ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας · και (iv) λειτουργικά δεδομένα, π.χ. μητρώα

εισαγωγής/εξαγωγής ενέργειας, αθροιστικά και ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης, ημερολόγιο συμβάντων ισχύος, ημερολόγιο ασφαλείας.

- Θα πρέπει να υπολογίζει το λογαριασμό.

Το SM θα πρέπει να διαθέτει διεπαφή HAN μέσω του οποίου μπορεί να επικοινωνεί με το κεντρικό σύστημα (μέσω του κόμβου επικοινωνίας), καθώς και δύο τύπους τοπικών συσκευών. Ο κόμβος επικοινωνίας που είναι συνδεδεμένος με το SM έχει διεπαφή δικτύου ευρείας περιοχής (WAN) μέσω του οποίου επικοινωνεί με το κεντρικό σύστημα. Οι τοπικές συσκευές τύπου 1 αποθηκεύουν διαπιστευτήρια ασφαλείας και μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν αυθεντικές και κρυπτογραφημένες εντολές ή δεδομένα από και προς το SM. Παραδείγματα συσκευών τύπου 1 είναι μια συσκευή διεπαφής προπληρωμής και ο κόμβος επικοινωνίας. Οι τοπικές συσκευές τύπου 2 δεν αποθηκεύουν διαπιστευτήρια ασφαλείας.

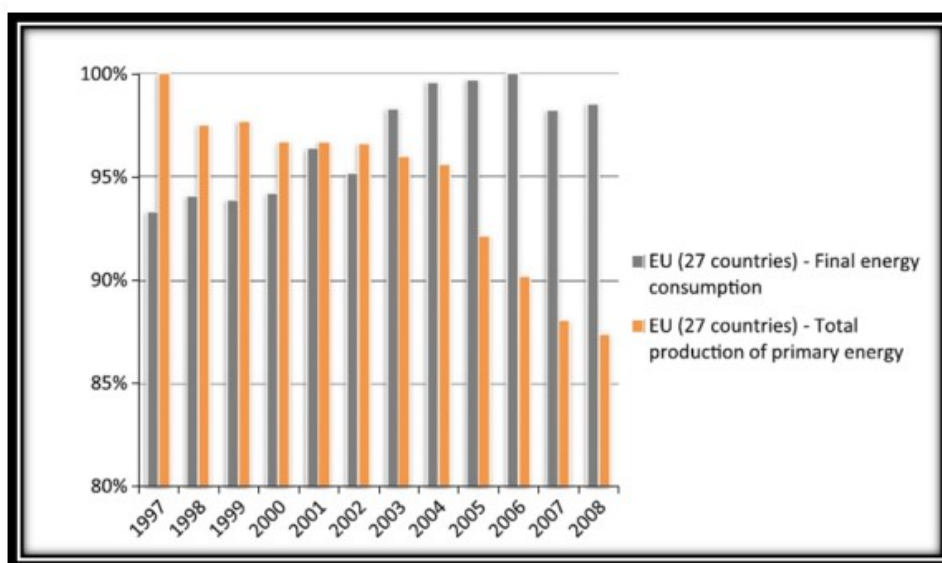
Είμαστε πεπεισμένοι ότι το SM που καθορίζεται από την οδηγία SMIP είναι ανεπαρκώς ασφαλές, καθώς (i) υπάρχει μικρή απομόνωση μεταξύ των διαφορετικών μονάδων που λειτουργούν σε αυτό, (ii) είναι δυνατό να επηρεαστεί το SM μέσω της διεπαφής HAN. Επίσης, είμαστε πεπεισμένοι ότι είναι ανέφικτο να έχουμε τον κόμβο επικοινωνίας φυσικά διαχωρισμένο από το SM. Πιστεύουμε ακράδαντα ότι το SM πρέπει να είναι ένα σύστημα υψηλής διασφάλισης, καθώς οι απαιτήσεις ασφάλειας και ασφάλειας είναι κρίσιμες, λόγω του δυνητικά τεράστιου φυσικού αντίκτυπου κάθε επίθεσης. Οι Yanetai. [18], καθώς και οι Metke και Ekl[43] πρότειναν τη χρήση αξιόπιστων υπολογιστών στο έξυπνο δίκτυο για την παροχή ακεραιότητας συστήματος, διαδικασίας και δεδομένων. Ωστόσο, δεν δίνουν λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής αυτού. Ο Petrlc[44] πρότεινε για κάθε SM να διαθέτει μια αξιόπιστη μονάδα πλατφόρμας που λειτουργεί ως συσκευή ανίχνευσης παραβιάσεων και υπολογίζει τους λογαριασμούς των χρηστών με βάση τα δεδομένα μέτρησης που μετρούνται στο SM και τα δεδομένα τιμολόγησης που παρέχονται από το κεντρικό σύστημα. Jawureketai. [45] πρότεινε τη χρήση ενός πρόσθετου στοιχείου, τοποθετημένου στη σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ κάθε SM και του κεντρικού συστήματος, για τον υπολογισμό των λογαριασμών των χρηστών.

4.4 Χρήση έξυπνων μετρητών για την αύξηση της απόδοσης

Ως κύριος στόχος, η διπλωματική εργασία ασχολείται με την αποτελεσματικότητα της έξυπνης μέτρησης στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων κατοικιών. Εξετάζει τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί και τα αναμενόμενα οφέλη, χωρίς να παρακάμπτει τυχόν προβλήματα που μπορεί να προκύψουν με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας. Τέλος, διερευνά τις συνθήκες που πρέπει να επικρατήσουν ώστε να εφαρμοστεί με επιτυχία στο ελληνικό κτιριακό απόθεμα, συμβάλλοντας στη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης. Για τους σκοπούς αυτής της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε αρχικά πολλή έρευνα σχετικά με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και πολλά έργα που σχεδιάστηκαν από την ΕΕ, παρέχοντας μια επισκόπηση των εξοικονομήσεων που επιτυγχάνονται από τα συστήματα έξυπνων μετρητών και μια σύντομη περιγραφή της τυπολογίας των κτιρίων που αυτά τα συστήματα εφαρμόστηκαν. Προκειμένου να βρεθεί το δυναμικό των συστημάτων έξυπνων μετρητών για τον έλεγχο και τη μείωση των ενεργειακών αναγκών των αποθεμάτων κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση αξιολόγησης για το σενάριο αξιολόγησης της εγκατάστασης 1.000.000 έξυπνων μετρητών σε κτίρια κατοικιών σε όλη την Ελλάδα. , τόσο σε πολυκατοικίες όσο και σε μονοκατοικίες, εξετάζοντας έτσι 2 διαφορετικά σενάρια. Άλλες παρεμβάσεις στο περίβλημα των κτιρίων ελήφθησαν επίσης υπόψη, καθώς είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μέτρα για την επίτευξη μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας. Μια σημαντική παράμετρος που ελήφθη υπόψη για τον προσδιορισμό της αξίας του υπολογισμού των αποταμιεύσεων ήταν οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, καθώς και η προβλεπόμενη μελλοντική τους εξέλιξη. Η μελέτη επεκτείνεται επίσης σε άλλα σενάρια αξιολόγησης, προσπαθώντας να καλύψει ένα ευρύ φάσμα πιθανών περιπτώσεων και συμπληρώνεται από μια οικονομική και μια παραμετρική ανάλυση προκειμένου να αξιολογηθεί η οικονομική σκοπιμότητα ενός τέτοιου συστήματος. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, επιβεβαίωσε τις δυνατότητες των συστημάτων έξυπνων μετρητών ως εργαλείου για την εξοικονόμηση πόρων στον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Ωστόσο, τα οικονομικά του συστήματος εμφανίστηκαν για ορισμένα σενάρια κερδοφόρα, ενώ για άλλα όχι, τουλάχιστον για την τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.

4.4.1 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Το 2005 ο ευρωπαϊκός οικιστικός τομέας αντιπροσώπευε το 26,6% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας από το νοικοκυριό αυξήθηκε κατά την περίοδο 1990-2005 στα περισσότερα κράτη μέλη (ΕΕ-27) κατά 11,6%, ενώ μόνο πέντε κράτη μέλη κατάφεραν να μειώσουν την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η κατάσταση σύμφωνα με το γεγονός ότι η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται, ενώ η συνολική. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, υποδηλώνει πόσο σημαντική είναι τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που πρέπει να εφαρμοστούν στα κτίρια κατοικιών. Περισσότερο το πιο σημαντικό, η θέρμανση του χώρου είναι το μεγαλύτερο συστατικό της χρήσης ενέργειας σχεδόν σε όλα τα κράτη μέλη, αντιπροσωπεύοντας το 67%, ακολουθούμενη από τη θέρμανση του νερού και συσκευές/φωτισμός.



Εικόνα 4.1: Συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας και τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-27 από το 1997(mdpi.com)

4.4.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ευρώπης και συνορεύει με την Ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα, το Ιόνιο Πέλαγος και το Αιγαίο Πέλαγος. Το κλίμα στην Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα με σχετικά ξηρά και ζεστά καλοκαίρια, βροχερούς και ήπιους χειμώνες και, σε γενικές γραμμές, παρατεταμένη ηλιοφάνεια για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Μια μεγάλη ποικιλία τύπων κλίματος συναντάται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας λόγω του μεσογειακού

κλίματος. Ο λόγος είναι ο τρόπος με τον οποίο η τοπογραφία (μεγάλα βουνά κατά μήκος της χώρας και άλλα ορεινά σώματα) επηρεάζουν την ατμοσφαιρική μάζα που προέρχεται από τις πηγές υγρασίας της κεντρικής Μεσογείου. Ως εκ τούτου, ο καιρός ποικίλλει από το υγρό κλίμα της Δυτικής και Βόρειας Ελλάδας έως το ξηρό κλίμα της Αθήνας και της Ανατολικής Ελλάδας. Στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας κλιματολογικούς όρους, το έτος χωρίζεται σε δύο κύριες εποχές: την ξηρή και ζεστή περίοδο που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο και την περίοδο βροχών και κρύων που διαρκεί από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο. Κατά τη δεύτερη περίοδο, οι πιο κρύοι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, με μέση ελάχιστη θερμοκρασία μεταξύ 5 και 10 βαθμών Κελσίου κοντά στις ακτές και 0 και 5 βαθμούς Κελσίου πάνω από την ηπειρωτική χώρα, με χαμηλότερες τιμές στο βόρειο τμήμα της χώρας. Ο καιρός είναι κυρίως σταθερός κατά τις ξηρές και ζεστές περιόδους, ο ήλιος είναι φωτεινός, ο ουρανός είναι καθαρός και οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες. Οι βροχερές μέρες στη σειρά δεν είναι συχνές στην Ελλάδα και ο ουρανός είναι κυρίως καθαρός (χωρίς σύννεφα) ακόμη και το χειμώνα, κάτι που δεν συμβαίνει σε άλλες περιοχές του κόσμου. Ο χειμώνας είναι πιο ήπιος στα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου σε σύγκριση με την Ανατολική και Βόρεια ηπειρωτική Ελλάδα. Η πιο ζεστή περίοδος εμφανίζεται στα τέλη Ιουλίου και αρχές Αυγούστου, όταν η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 29 και 35 βαθμών Κελσίου. Ευτυχώς, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, υπάρχει φρέσκο θαλασσινό αεράκι στις παράκτιες περιοχές της χώρας και βοριάδες που πνέουν κυρίως στο Αιγαίο.

4.4.3 Χαρακτηριστικά του ελληνικού κτιριακού αποθέματος

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη απογραφή του ελληνικού κτιριακού αποθέματος σε όλη την επικράτεια και την επεξεργασία των σχετικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ. ΣΤΑΤ.), Αποδεικνύεται ότι ο συνολικός αριθμός κατοικιών (κτίρια κατοικιών) ανέρχεται σε 5.627.549, εκ των οποίων τα 4.381.317 είναι καταχωρημένα ως κανονικά, και τα κτίρια ανέρχονται σε 3.990.970.

Το έτος κατασκευής κτιρίων καθορίζει την ύπαρξη μόνωσης, άρα και το επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας. Τα αντίστοιχα δεδομένα δείχνουν ότι θεωρητικά, και όπου οι μελέτες κτιρίων είχαν εφαρμοστεί στην πράξη, μόνο το 30% των κτιρίων αποτελείται από μόνωση. Ειδικότερα, μόνο εκείνα της κατασκευαστικής περιόδου

1981-1985 που αναπαριστούν το 10,13% και αυτά που κατασκευάστηκαν από το 1986 έως σήμερα (18,31%), καθώς και υπό κατασκευή (1,44%) τα κτίρια περιλαμβάνουν μόνωση.

Τόσο τα κτίρια όσο και οι κανονικές κατοικίες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με το αν βρίσκονται σε αστικές ή αγροτικές περιοχές. Παλαιότερα, El.Stat. χρησιμοποίησε την κατηγορία των «προαστιακών» περιοχών, η οποία δεν ισχύει πλέον στο πλαίσιο της εναρμόνισης με τις πρακτικές της Eurostat. Στην Ελλάδα, ο πληθυσμός των κατοικιών στις αστικές περιοχές είναι υψηλότερος (65,24%) από ό,τι στους αγροτικούς (34,76%).

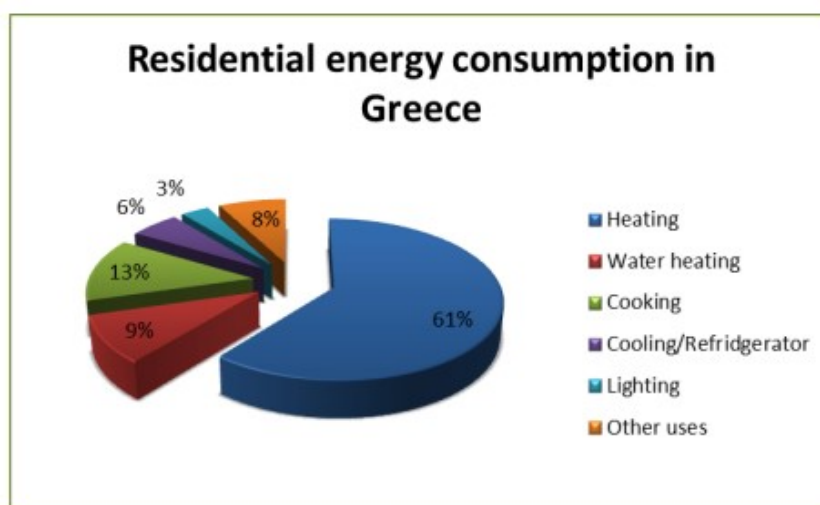
4.4.4 Καταναλώσεις στα Ελληνικά κτίρια

Για την εργασία αυτή, τα δεδομένα για το κλίμα που χρησιμοποιούνται αφορούν τέσσερις ελληνικές πόλεις που αντιστοιχούν στις τέσσερις διαφορετικές κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Διατήρησης της Ενέργειας και τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Οι πόλεις αυτές είναι το Ηράκλειο, (κλιματική ζώνη Α), η Αθήνα (κλιματική ζώνη Β), η Θεσσαλονίκη (κλιματική ζώνη Γ) και η Καστοριά (κλιματική ζώνη Δ). Σύμφωνα με μια μελέτη που έγινε από τη συνεργασία μεταξύ των ελληνικών πανεπιστημίων, τα αποτελέσματα μιας αξιολόγησης της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί σε μονοκατοικίες και πολυκατοικίες με μέτρα παρέμβασης στο φάκελό τους, φαίνονται παρακάτω. Αυτά τα μέτρα παρέμβασης αφορούν διαφορετικό πάχος μόνωσης και κουφώματα με διπλά τζάμια. Ο Πίνακας 4.1 αναφέρεται σε συγκεκριμένα κτίρια κατοικιών για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες.

Πίνακας 4.1: Κατανάλωση ενέργειας πολυκατοικίας σε κατάσταση αναφοράς και μετά από παρεμβάσεις ανά κλιματική ζώνη, (researchgate.net)

Detached house								
Climate Zone	A	% (of reduction)	B	%	C	%	D	%
Energy consumption in reference condition (kWh/m ²)	148		217		302		338	
3cm insulation + frames	84	43,2	124	42,9	170	43,7	178	47,3
5cm insulation + frames	77	48,0	113	47,9	156	48,3	162	52,1
6cm insulation + frames	75	49,3	110	49,3	152	49,7	157	53,6
7cm insulation + frames	73	50,7	108	50,2	149	50,7	153	54,7
Cold roof	77	48,0	107	50,7	149	50,7	152	55

Η κατανάλωση ενέργειας που αναφέρεται στη θέρμανση χώρου και το ζεστό νερό οικιακής χρήσης αποτελεί σχεδόν το 70% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου κατοικιών στην Ελλάδα. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 4.1 και την προαναφερθείσα μελέτη, συμπληρώθηκαν οι πίνακες που περιέχουν τη συνολική τρέχουσα ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων και παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.2. Σε αυτούς τους πίνακες, υπάρχει ένας συνδυασμός μεταξύ της κλιματικής ζώνης, της ηλικίας και της συνολικής τρέχουσας ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων ανά τετραγωνικό μέτρο. Οι υπολογισμοί επιστρέφουν στο τετραγωνικό μέτρο για μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 4.2: Energy consumption in Greek residential sector (researchgate.net)

4.4.5 Υλοποίηση έξυπνων μετρητών

Τα καλύτερα παραδείγματα εφαρμογών έξυπνων μετρητών σε όλη την Ευρώπη ήταν αυτά στην Αυστρία Ιρλανδία και Ιταλία. Συγκρίνοντας τα κλιματικά χαρακτηριστικά αυτών των χωρών με αυτά της Ελλάδας, καθώς και τις αντίστοιχες τυπολογίες κτιρίων, εντοπίστηκαν οι περισσότερες ομοιότητες μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα της έξυπνης μέτρησης στο ιταλικό κτηριακό απόθεμα θα υιοθετηθεί επίσης για την Ελλάδα, προκειμένου να καταλήξει σε αριθμητικά αποτελέσματα. Στην Ιταλία, η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών από την Enel κατέληξε σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων κατά 5%. Στον Πίνακα 4.2, εμφανίζονται τα αποτελέσματα αυτής της εγκατάστασης σε μονωμένα κτίρια στην Ελλάδα.

Πίνακας 4.2 Ποσοστό εξοικονόμησης έξυπνης μέτρησης σε μονοκατοικίες ανά κλιματική ζώνη και ηλικία
(researchgate.net)

SAVINGS DUE TO THE SMART METERS APPLICATION						
Apartment building						
Climate zone	Age	%	Age	%	Age	%
A	1946-1980	46	1981-1985	39	1986 till today	38
B	1946-1980	37	1981-1985	34	1986 till today	34
C	1946-1980	17	1981-1985	30	1986 till today	30
D	1946-1980	22	1981-1985	21	1986 till today	21

Αναλύοντας τους Πίνακες 4.1 και 4.2 μπορούμε να καταλάβουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του κτιρίου, τόσο περισσότερες οικονομίες παρατηρούνται. Επιπλέον, τα παλαιότερα σπίτια, για παράδειγμα αυτά που χτίστηκαν πριν από το -55, πριν από το 1980, όταν ο κανονισμός των μονωτικών κτιρίων δεν είχε ακόμη εισαχθεί, παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, κτίρια που βρίσκονται στις κλιματικές ζώνες Α και Β. παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση από αυτές σε C και D, πιθανώς επειδή η χρήση του κλιματισμού είναι πιο διαδεδομένη και απαραίτητη, λόγω των κλιματικών συνθηκών. Τέλος, η μείωση των μονοκατοικιών είναι μικρότερη από ό, τι στις πολυκατοικίες. Οι Πίνακες 4.1 και 4.2 συνδυάζουν κλιματική ζώνη, ηλικία και επιφάνεια για πολυκατοικίες σε τρεις διαφορετικές συνθήκες. Αυτές οι συνθήκες αναφέρονται στην ύπαρξη ή μη μόνωσης ή όχι, καθώς και στην ύπαρξη έξυπνων μετρητών σε μονωμένα κτίρια. Αυτοί οι πίνακες διευκολύνουν την παρακολούθηση των αλλαγών κατανάλωσης.

Η μέση ελληνική κατοικία έχει θερμαινόμενη επιφάνεια περίπου 80 m². Είναι χρήσιμο να δούμε πώς ποικίλλει η κατανάλωση ενέργειας μεταξύ για παράδειγμα μιας μονωμένης πολυκατοικίας με εγκατεστημένους έξυπνους μετρητές στην Αθήνα (κλιματική ζώνη Β) και μιας μη μονωμένης στη Θεσσαλονίκη (κλιματική ζώνη Γ). Η εξοικονόμηση ενέργειας στην πρώτη περίπτωση φτάνει περίπου το 34%, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το 5%. Αυτή η συγκεκριμένη διαφορά σημαίνει ότι το σπίτι στη Θεσσαλονίκη καταναλώνει περίπου 8.000 kWh περισσότερο από αυτό της Αθήνας. Ένα μονωμένο κτίριο με έξυπνους μετρητές στο Ηράκλειο (κλιματική ζώνη Α) μειώνει την κατανάλωση κατά 38%. όπου ως μονωμένο κτίριο με έξυπνους μετρητές στην

Καστοριά (κλιματική ζώνη Δ) το μειώνει κατά 21%. Η διαφορά εδώ αντιστοιχεί σε 10.245 kWh [46]. Για μια μέση ελληνική κατοικία, η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας παρατηρείται σε κτίρια της κλιματικής ζώνης D, πιθανώς λόγω βαρέων χειμώνων. Μια μέση πολυκατοικία στην Καστοριά (κλιματική ζώνη D), που χτίστηκε πριν από το 1980 καταναλώνει 25.440 kWh. Μια ανάλυση ευαισθησίας βασισμένη στην αποτελεσματικότητα των έξυπνων μετρητών πριν και μετά τις επεμβάσεις απεικονίζεται παρακάτω, λαμβάνοντας υπόψη μια μείωση από 2% σε 10% (απαισιόδοξο οπτικό σενάριο αντίστοιχα). Δώστε προσοχή στο γεγονός ότι ένα κτίριο σε οποιαδήποτε άλλη κλιματική ζώνη της Ελλάδας θα έχει μεγαλύτερη εξοικονόμηση από αυτό λόγω της θέσης του, όπως εξηγήθηκε νωρίτερα (το κτίριο στην Καστοριά είναι το πιο απαισιόδοξο σενάριο σύμφωνα με την κλιματική ζώνη που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η διάχυση και η διάδοση των τεχνολογιών γενικά, και οι αρχές και οι τεχνολογίες των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ειδικότερα, δεν εξαρτώνται μόνο από την τεχνολογική πρόοδο και τις οικονομικές συνθήκες. Η γνώση και η υποστήριξη των αρχών και της τεχνολογίας εξοικονόμησης ενέργειας από το ευρύ κοινό στην Ελλάδα αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική προϋπόθεση για την προώθηση πολιτικών βελτίωσης του κτιριακού αποθέματος. Ομοίως, η έλλειψη γνώσης σχετικά με τις τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και ο φόβος που συνήθως συνοδεύει την κάθετη επαφή με οτιδήποτε νέο, ίσως έχει ως αποτέλεσμα την αντίσταση στην υιοθέτηση κοινών αρχών και τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, ακόμη και αν δείχνουν ότι έχουν ισχυρό υπόβαθρο και προσφέρουν λύσεις οικονομικά βιώσιμες. Η στρατηγική πληροφόρησης κάθε έργου πρέπει να στοχεύει στην αφύπνιση του κοινού σχετικά με τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, με δράσεις που είναι πιο κοντά στην εμπειρία και τη φαντασία των καταναλωτών. Το κύριο ζήτημα στη διάδοση αυτής της στρατηγικής είναι η επιλογή των κατάλληλων μέσων προκειμένου να γίνει ευρύτερα αποδεκτή και να επιτευχθούν οι στόχοι που είχαν τεθεί. Για το σκοπό αυτό, όλοι πρέπει να γνωρίζουν τα ακόλουθα βασικά σημεία. Τα κίνητρα για τη συμμετοχή των χρηστών και τα κέρδη από τη συμμετοχή, τα αποτελέσματα της δράσης σε επίπεδο βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης και μείωσης του ενεργειακού κόστους για τον πολίτη και τα αποτελέσματα σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας σε εθνικό επίπεδο. Αυτό το συγκεκριμένο έργο θα μελετήσει την επεξεργασία της εγκατάστασης 1.000.000 έξυπνων μετρητών τα επόμενα πέντε χρόνια επιλέγοντας έναν λογικό αριθμό διαμερισμάτων που είναι 200.000 διαμερίσματα ετησίως. Για να είμαστε πιο συγκεκριμένοι, στο τέλος της περιόδου εφαρμογής, θα εγκατασταθούν 250.000 έξυπνοι μετρητές σε κάθε κλιματική ζώνη. Στο εξής, η λέξη χρήστη αναφέρεται στο διαμέρισμα που χρησιμοποιεί έξυπνους μετρητές για τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας.

5.1 Το συνολικό κόστος των έξυπνων μετρητών

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και άλλες μελέτες καταλήξαμε στα ακόλουθα οικονομικά στοιχεία για την αγορά, εγκατάσταση και λειτουργία έξυπνων μετρητών στην Ευρώπη. Στην Ιρλανδία, η αγορά και η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών κοστίζει 37-43 € μία φορά στη ζωή, συν 25-30 € κόστος λειτουργίας κάθε 10 χρόνια λειτουργίας. Η Ιρλανδία θα έχει καθαρό όφελος από την εφαρμογή έξυπνων μετρητών σε 10.000 διαμερίσματα ίση με 282.000.000 € για τα επόμενα 15-20 χρόνια όχι μόνο βάσει μειώσεων στους λογαριασμούς πελατών, αλλά και της ενεργειακής απόδοσης που επιτυγχάνεται και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Αριθμητικά, αυτό σημαίνει ότι το ετήσιο καθαρό όφελος κάθε διαμερίσματος είναι 1,410 - 1,880 €.

5.2 Εξοικονόμηση με εφαρμογή έξυπνης μέτρησης

Το όλο εγχείρημα αποσκοπούσε στον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας που θα επιτευχθεί με την αντικατάσταση των παραδοσιακών-συμβατικών μετρητών από τους πρόσφατους έξυπνους μετρητές. Η χρήση έξυπνων μετρητών δίνει στον καταναλωτή το πλεονέκτημα της παρακολούθησης της δικής του κατανάλωσης ενέργειας, οδηγώντας στην υιοθέτηση ενός προτιμώμενου προφίλ. Κάθε προφίλ μπορεί να έχει διαφοροποιημένους στόχους προκειμένου να ικανοποιήσει τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Αυτοί οι στόχοι μπορεί να είναι μια υπολογίσιμη μείωση του λογαριασμού από οικονομική άποψη ότι αποτελεί το κύριο κίνητρο για την πλειοψηφία του πληθυσμού ή τη μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για όσους είναι πιο ευαίσθητοι σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Αυτό μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με τη μετατόπιση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής ή με κατανάλωση κατά τις περιόδους χαμηλότερου ενεργειακού κόστους (€/kWh) στην περίπτωση δυναμικής τιμολόγησης. Ως αποτέλεσμα, ενεργοποιείται ο μηχανισμός Ζήτησης-Απόκρισης και οι στόχοι διαχειρίζονται εύκολα. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, 250.000 έξυπνοι μετρητές θα εγκατασταθούν σε κάθε μία από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας. Για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης, λάβαμε υπόψη ότι η επιφάνεια κάθε κτιρίου είναι 80m² και η κατανάλωση ανά m² (kWh/m²) προκύπτει από τη χρήση της μέσης συνάρτησης για την κατανάλωση ανάλογα με την ηλικία των κτιρίων σε κάθε κλίμα ζώνη. -64- Οι παρακάτω πίνακες και διαγράμματα παρουσιάζουν τη

διαφορά στην κατανάλωση πριν και μετά την εγκατάσταση του έξυπνου μετρητή, σε πολυκατοικίες και μονοκατοικίες αντίστοιχα.

5.3 Οικονομική προσέγγιση

Προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό κόστος της επιχείρησης, απαιτείται εκτίμηση κόστους του σταδίου εφαρμογής του έξυπνου μετρητή. Αυτό το στάδιο περιέχει τα μονωτικά μέτρα που εφαρμόστηκαν για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων. Η αντιστοίχιση των συστατικών που απαιτούνται με τα εξαρτήματα που υπάρχουν στην αγορά είναι μερικές φορές πολύ δύσκολη επειδή υπάρχει μεγάλη ποικιλία ανάλογα με την ποιότητα και το κόστος. Ακόμα κι αν βρεθούν οι τιμές της αγοράς, άλλες παράμετροι, όπως το περιθώριο κέρδους του λιανοπωλητή, καθώς και το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Για τους προαναφερθέντες λόγους, το κόστος του συστήματος υπολογίστηκε, με βάση τις τιμές παρόμοιων στοιχείων και τις αναλύσεις κόστους προηγούμενων μελετών σχετικά με την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων (Πίνακας 4.3)[46].

Πίνακας 4.3 Κόστος εφαρμογής προ-έξυπνου μετρητή.(researchgate.net)

Interventions before SM application	Cost (€/m ²)		
Integrated system of external insulation	41,4		
Insulating series in sliding doors	100		
Sum	141,4	Sum for users as a whole (€)	11.312.000.000
Other interventions per building	4.270	Sum for users as a whole (€)	4.270.000.000
		Total (€)	15.582.000.000

Το συνολικό κόστος των παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν πριν από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών εκτιμάται ότι είναι 15,582 εκατομμύρια ευρώ

ετησίως, για 1.000.000 χρήστες. Οι «άλλες παρεμβάσεις» αναφέρονται σε σφράγιση ανοιγμάτων, αντικατάσταση λέβητα με πιο αποδοτικό για πετρέλαιο ή αέριο, εγκατάσταση αισθητήρων για τον έλεγχο της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, εγκατάσταση θερμοστάτη κ.λπ. Επιπλέον, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ανάλυση σκοπιμότητας, χρειάστηκαν επίσης ορισμένες άλλες παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν:

Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης στην Ελλάδα θεωρήθηκε στα 1,03 €/lt ως η μέση ετήσια τιμή πετρελαίου για το 2014 . Η ετήσια αύξηση της τιμής του πετρελαίου ορίστηκε στο 3%, με βάση τις προβλέψεις του IEA για τις συμβατικές τιμές των καυσίμων για τα επόμενα χρόνια [48]. Η τιμή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα θεωρήθηκε στα 0,08 €/lt ως η μέση ετήσια τιμή φυσικού αερίου για τον οικιακό τομέα για το 2014 . Η ετήσια αύξηση της τιμής του φυσικού αερίου ορίστηκε στο 10%, με βάση τις προβλέψεις του Ινστιτούτου της Οξφόρδης για ενεργειακές μελέτες. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση ήταν 8%, παρόμοια με το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποίησαν οι Faruqietal. (2010) στη μελέτη τους. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ολόκληρο το εγχείρημα πληρώνεται μία φορά στη ζωή. Για λόγους ευκολίας, μελετάμε την οικονομική απόδοση του έργου σε βάθος 20 ετών, καθώς η πλειοψηφία των έργων υπολογίζεται.

5.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης σκοπιμότητας

Προκειμένου να εκτιμηθεί η οικονομική σκοπιμότητα των μονωτικών επεμβάσεων και της εφαρμογής έξυπνων μετρητών, χρησιμοποιούνται τρία εργαλεία αξιολόγησης, δηλαδή η απλή περίοδος αποπληρωμής (PP), η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) και το Εσωτερικό Ποσοστό Απόδοσης (IRR). Οι τρεις δείκτες βρίσκουν εφαρμογή στον προϋπολογισμό κεφαλαίων και χρησιμοποιούνται ευρέως από πολλές εταιρείες σε όλο τον κόσμο ως κριτήρια λήψης αποφάσεων. Γενικά, η απλή περίοδος αποπληρωμής αναφέρεται στην χρονική περίοδο που απαιτείται για την απόσβεση της αρχικής επένδυσης, μέσω της εσωτερικής δημιουργίας ταμειακών ροών του έργου. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση μας, η απλή περίοδος αποπληρωμής υπολογίζει τον χρόνο που απαιτείται προκειμένου οι εξοικονομήσεις που προκύπτουν από το σύστημα έξυπνων μετρητών να «αποπληρώσουν» το αρχικό κόστος επένδυσης του συστήματος. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του εργαλείου είναι

το γεγονός ότι είναι εύκολο να υπολογιστεί και να κατανοηθεί εύκολα για τους περισσότερους ανθρώπους, ανεξάρτητα από την εκπαίδευση και το ακαδημαϊκό τους υπόβαθρο. Ωστόσο, η απλή περίοδος αποπληρωμής δεν λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος που αποτελεί κύριο μειονέκτημα. Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη χρηματοοικονομική συνάρτηση LOOKUP στο λογισμικό excel, καθώς και τις αθροιστικές ταμειακές ροές. Αντίθετα, η χρονική αξία του χρήματος λαμβάνεται υπόψη από το δεύτερο εργαλείο αξιολόγησης, την Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV). Όλες οι προβλεπόμενες ταμειακές ροές (στην περίπτωση μας η προβλεπόμενη εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με το σύστημα έξυπνων μετρητών) προεξοφλούνται στο παρόν με το προεξοφλητικό επιτόκιο και συνοψίζονται για να βρεθεί η παρούσα αξία της επένδυσης. Προκειμένου το σύστημα έξυπνων μετρητών να είναι οικονομικά εφικτό, η τιμή αυτή θα υπερβαίνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Κάθε έργο με θετικό NPV είναι αποδεκτό και για την κατάταξη εναλλακτικών λύσεων, όσο υψηλότερο είναι το NPV, τόσο καλύτερη είναι η εναλλακτική λύση. Εάν το NPV είναι μηδενικό, δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ της τοποθέτησης των χρημάτων στην τράπεζα και της επένδυσης των χρημάτων στο συγκεκριμένο έργο. Σε περίπτωση που το NPV είναι αρνητικό, το έργο δεν γίνεται αποδεκτό επειδή θα υπάρξει απώλεια χρημάτων που επενδύουν στο εγχείρημα. Ο υπολογισμός και η χρήση του NPV είναι πιο δύσκολος από την απλή περίοδο αποπληρωμής, καθώς είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το σωστό προεξοφλητικό επιτόκιο. Επιπλέον, απαιτείται γνώση των βασικών οικονομικών εννοιών, προκειμένου κάποιος να κατανοήσει το νόημά του και να το χρησιμοποιήσει σωστά ως κριτήριο λήψης αποφάσεων. Η Καθαρή Παρούσα Αξία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη χρηματοοικονομική συνάρτηση NPV στο λογισμικό excel, καθώς και το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο και τις ταμειακές ροές. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι ένα άλλο μέτρο έκπτωσης ταμειακών ροών. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) βασίζεται σε προεξοφλημένες ταμειακές ροές. Σε αντίθεση με τον κανόνα NPV, ωστόσο, λαμβάνει υπόψη την κλίμακα του έργου. Είναι το προεξοφλημένο ταμειακό ρεύμα ανάλογο με τα λογιστικά επιτόκια απόδοσης. Και πάλι, σε γενικές γραμμές, το IRR είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που καθιστά το NPV ενός έργου ίσο με το μηδέν. Ένα πλεονέκτημα του IRR είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε περιπτώσεις όπου το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι άγνωστο. Αν και αυτό ισχύει για τον

υπολογισμό του IRR, δεν ισχύει όταν ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων πρέπει να χρησιμοποιήσει το IRR για να αποφασίσει εάν θα αναλάβει ένα έργο. Σε εκείνο το στάδιο της διαδικασίας, το IRR πρέπει να συγκριθεί με το προεξοφλητικό επιτόκιο. Εάν το IRR είναι μεγαλύτερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο, το έργο είναι καλό. εναλλακτικά, το έργο πρέπει να απορριφθεί. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη χρηματοοικονομική συνάρτηση IRR στο λογισμικό excel, καθώς και ένα υποθετικό αλλά λογικό προεξοφλητικό επιτόκιο και τις ταμειακές ροές.

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι σε όλα τα σενάρια αξιολόγησης, για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς, θεωρείται ότι εγκαθίσταται στην αρχή ολόκληρος ο αριθμός των έξυπνων μετρητών της επιχείρησης, το έτος 0. Για το λόγο αυτό, ως αρχικό κόστος επένδυσης θεωρείται το άθροισμα του κόστους των μονωτικών παρεμβάσεων συν το κόστος του έργου του έξυπνου μετρητή. Μια άλλη υπόθεση αναφέρεται στο συνολικό κόστος των έξυπνων μετρητών όσον αφορά τα αισιόδοξα και απαισιόδοξα σενάρια (μονάδα 7.1). Ο μέσος όρος αυτών των δύο σεναρίων λαμβάνεται υπόψη επειδή η διαφορά που σχετίζεται με το συνολικό αρχικό κόστος είναι αμελητέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Το μοντέλο ARIMA

Το μοντέλο ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) είναι ένα τυπικό γραμμικό μοντέλο χρονοσειρών που δέχεται τις παρούσες τιμές και προβλέπει τις μελλοντικές τιμές της σειράς. Αντιπροσωπεύεται ως ARIMA (p, d, q) όπου η παράμετρος p αναφέρεται ως η σειρά για αυτόματη παλινδρόμηση, η παράμετρος d είναι η σειρά για τη μη εποχιακή διαφορά και q είναι η σειρά για τον κινητό μέσο όρο. Το μοντέλο ARIMA δέχεται δεδομένα χρονοσειρών ως είσοδο (συνδυασμός προηγούμενων τιμών) και προβλέπει μελλοντικές τιμές ως έξοδο. Η πρόβλεψη των μελλοντικών αξιών οδηγεί στην εφαρμογή πολλών εφαρμογών όπως εκτιμήσεις ζήτησης, εκτίμηση τιμών μετοχών, οικονομικές εκτιμήσεις και αναπαραστάσεις πωλήσεων [48]. Υπάρχουν δύο τύποι διεργασιών ARIMA, οι εποχιακές και οι μη εποχιακές, οι οποίες αναλύονται λεπτομερώς παρακάτω.

Εποχικό μοντέλο ARIMA: Η εποχικότητα είναι ένα κανονικό μοτίβο αλλαγών που επαναλαμβάνεται σε 5 χρονικές περιόδους. Ένα εποχιακό μοντέλο ARIMA εκφράζεται ως ARIMA (p, d, q) (P, D, Q) 5 όπου P είναι η τάξη του εποχιακού αυτοπαλινδρομικού τμήματος, D είναι η τάξη του εποχιακού τμήματος διαφοροποίησης, Q είναι η σειρά εποχικής κίνησης μέσο μέρος και 5 είναι ο αριθμός των χρονικών περιόδων του εποχιακού κύκλου [49].

Τα διαφορετικά εποχιακά μοντέλα ARIMA είναι:

ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 0)₁₂: Αυτοπαλινδρομικός όρος πρώτης τάξης σε μη εποχικό μέρος και εποχιακή διαφορά τάξης 1.

$$Y(t) = \mu + y(t-12) + \phi(y(t-1) - y(t-13))$$

όπου το μ είναι σταθερό και $\phi(y(t-1) - y(t-13))$ είναι ο όρος εποχικής διαφοράς

ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)₁₂: όρος αυτοπαλίνδρομος πρώτης τάξης και όρος κινούμενος μέσος όρος στο μη εποχιακό μέρος και όρος κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης στο εποχιακό μέρος με εποχιακή διαφορά τάξης 1

$$Y(t) = \mu + y(t-12) + \phi(y(t-1) - y(t-13)) - \theta e(t-1) - \Theta e(t-12) + \theta \Theta e(t-13)$$

όπου μ είναι η σταθερά

Το Θ είναι ο εποχιακός κινούμενος μέσος όρος(1).

$\phi(y(t-1) - y(t-13))$ είναι όρος εποχιακής διαφοράς

Θ είναι ο συντελεστής Κινούμενος Μέσος όρος(1).

ARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1)₁₂: Όρος κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης, όρος διαφοράς στο μη εποχιακό μέρος και όρος κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης με εποχιακή διαφορά.

$$Y(t) = y(t-12) + (y(t-1) - y(t-13)) - \theta e(t-1) - \Theta e(t-12) + \theta \Theta e(t-13)$$

όπου Θ είναι ο συντελεστής SMA(1).

Το Θ είναι συντελεστής MA(1).

ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0)₁₂ : Δεύτερης τάξης αυτοπαλινδρομικός όρος, όρος κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης σε μη εποχικό μέρος και αυτοπαλινδρομικός όρος δεύτερης τάξης σε εποχιακό όρο με εποχιακή διαφοροποίηση τάξης 1.

$$Y(t) = \mu + y(t-12) + y(t-24) + \phi(y(t-1) - y(t-13)) - \theta e(t-1)$$

όπου το μ είναι σταθερό

$\phi(y(t-1) - y(t-13))$ είναι όρος εποχιακής διαφοράς

Θ είναι ο συντελεστής MA(1).

Δεν συνιστάται η χρήση περισσότερων από μία τάξεων εποχιακής διαφοροποίησης ή περισσότερων από δύο τάξεων συνολικής διαφοροποίησης [49].

Η εποχιακή ARIMA παρουσιάζει τη σειρά ως προς τις προηγούμενες τιμές της σε καθυστέρηση ίση με τη διάρκεια της περιόδου (εσ), ενώ η μη εποχική ARIMA το κάνει ως προς τις προηγούμενες τιμές της στην υστέρηση 1 [50].

Μη εποχικό μοντέλο ARIMA: Ένα μη εποχικό μοντέλο ARIMA αντιπροσωπεύεται ως μοντέλο ARIMA (p, d, q) όπου p είναι ο αριθμός αυτοπαλινδρομικών όρων, d είναι ο αριθμός μη εποχιακών διαφορών και q είναι όρος κινούμενος μέσος όρος [48].

Τα διαφορετικά μη εποχικά μοντέλα ARIMA είναι:

ARIMA (2, 1, 1): Ένα μοντέλο ARIMA με αυτοπαλινδρομικό όρο τάξης 2 και κινητό μέσο όρο τάξης 1 με διαφορά τάξης 1.

$$Y(t) = d + a(1) \cdot y(t-1) + a(2) \cdot y(t-2) - e(t) - c(1) \cdot e(t-1)$$

όπου d είναι ο διαφορικός όρος

a (1) είναι συντελεστής αυτοπαλίνδρομης πρώτης τάξης

Το a (2) είναι αυτοπαλινδρομικός συντελεστής δεύτερης τάξης

Το $c(1)$ είναι συντελεστής κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης

$y(t-1)$, $y(t-2)$ είναι σειρές σε προηγούμενες τιμές

Τα $e(t)$ και $e(t-1)$ είναι υπολείμματα στην περίοδο t και $(t-1)$

ARIMA (1, 1, 1): Ένα μικτό μοντέλο αυτοπαλινδρομικών και κινητών μέσων όρων τάξης 1 με διαφορά τάξης 1.

$$Y(t) = d + a(1) \cdot y(t-1) - e(t) - c(1) \cdot e(t-1)$$

όπου το (1) είναι συντελεστής αυτοπαλινδρομής πρώτης τάξης

Το d είναι διαφορετικός όρος

Το $c(1)$ είναι συντελεστής κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης

Το $y(t-1)$ είναι σειρά σε προηγούμενες τιμές

Τα $e(t)$ και $e(t-1)$ είναι υπολείμματα στην περίοδο t και $t-1$

ARIMA (1, 1, 0): Αυτοπαλινδρομικός όρος πρώτης τάξης με μη εποχιακή διαφορά τάξης 1.

$$Y(t) = d + a(1) \cdot y(t-1)$$

όπου το (1) είναι συντελεστής αυτοπαλινδρομής πρώτης τάξης

Το d είναι διαφορετικός όρος

Το $y(t-1)$ είναι σειρά σε προηγούμενες τιμές

ARIMA (0, 1, 1): Όρος κινητού μέσου όρου πρώτης τάξης με μη εποχιακή διαφορά τάξης 1.

$$Y(t) = d - e(t) - c(1) \cdot e(t-1)$$

6.2 Σχεδιασμός και εφαρμογή ερευνητικού μέρους

6.2.1 Στόχοι ερευνητικού μέρους

Η παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιεί τις ωριαίες τιμές κατανάλωσης ενέργειας από παρόχους ενέργειας στο εξωτερικό (ελήφθησαν datasets του εξωτερικού όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα ακολούθως). Αυτές οι τυπικές τιμές βοηθούν τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και τους καταναλωτές να γνωρίζουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, η οποία αναφέρεται σε ωριαία βάση. Η μελέτη και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται μπορούν να βοηθήσουν τους καταναλωτές να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους, ιδίως όταν συσχετίζονται με μια δυνητικά

μεταβαλλόμενη τιμή. Αυτή η εργασία εξηγεί ένα χάσμα μεταξύ των καταναλωτών και των ενεργειακών επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν πιο αποτελεσματικά μέσω της εφαρμογής στρατηγικών διατήρησης. Οι καταναλωτές πρέπει να εκπαιδεύονται με ευρύτερες γνώσεις σχετικά με τον μετρητή, ώστε να μπορούν να αλλοιωθούν οι λανθασμένες αντιλήψεις. Διεξάγεται μια μελέτη περίπτωσης με βάση τα τυπικά δεδομένα που λαμβάνονται για ένα σύνολο νοικοκυριών. Η ερευνητική εργασία μπορεί επίσης να βοηθήσει τους χρήστες να σκέφτονται έξυπνα όταν καταναλώνουν ενέργεια. Επιπλέον, εξετάζονται τα ημερήσια πρότυπα για ολόκληρη την ημέρα σε ωριαία βάση. Μελλοντική εξοικονόμηση που συνίσταται στον καθορισμό του πότε θα χρησιμοποιηθεί ποια συσκευή και αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης και τεχνικές ισοπέδωσης, κάτι που θα λάβει χώρα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Ο κύριος στόχος αυτής της έρευνας είναι να μετρήσει και να αναλύσει την κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας δεδομένα από Έξυπνους Μετρητές (Smart Meter) με τη διεξαγωγή μελέτης περίπτωσης σε διάφορα νοικοκυριά. Οι σχετικοί στόχοι είναι οι εξής:

- Η ανάλυση των δεδομένων σε ωριαία βάση ώστε να γίνει αντιληπτή η δυνατότητα που μπορούν να έχουν πολλές γραμμικές μετρήσεις στον έλεγχο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι απαιτήσεις μπορούν να μεταβληθούν εγκαίρως, ώστε η συνολική κατανάλωση ενέργειας να σημειώνει λιγότερες μεταβολές και να είναι λιγότερο δαπανηρή.
- Η μεταβολή της γνώμης των ανθρώπων προκειμένου να πράττουν έξυπνα κατά τη διάρκεια της ημέρας για καλύτερη κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας.
- Η επιλογή ενός καλού μοντέλου πρόβλεψης για την πρόβλεψη της 24ωρης κατανάλωσης και του κόστους.
- Η ισοπέδωση του γραφήματος διανομής ισχύος όταν συμβαίνουν μη φυσιολογικές αλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας.

6.2.2 Συνεισφορά της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων με τη χρήση των έξυπνων μετρητών, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης και άρα των

συνολικών ενεργειακών δαπανών. Με τη χρήση των παραδοσιακών μετρητών, είναι αδύνατη η αποφυγή σπατάλης της ενέργειας στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του νοικοκυριού είναι γνωστή σε μηνιαία βάση από τους συμβατικούς μετρητές, χωρίς περαιτέρω αναλύσεις ως προς τη ζήτηση. Υπάρχει μια συλλογική γραμμή στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να διερευνήσουν μια νέα εξέλιξη προς όφελος των καταναλωτών αλλά και των ιδίων. Ωστόσο, η μελέτη αποφασίζει να επιχειρήσει αντικατάσταση του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας στα αντίστοιχα νοικοκυριά ελαχιστοποιώντας τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται από τον καταναλωτή. Οι καθημερινές ηλεκτρικές χρήσεις αλλάζουν ανάλογα με τις συνήθειες και εξαρτώνται κυρίως από τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Με τη χρήση παραδοσιακών μετρητών, οι χρήσεις δεν ισοπεδώνονται καθώς οι καταναλωτές δεν έχουν τη γνώση για το πόση κατανάλωση έχει γίνει σε μια ώρα ή σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε μια ημέρα. Η αβέβαιη αντίληψη των καταναλωτών μπορεί επίσης να παραποιηθεί καθώς οι περισσότεροι από τους καταναλωτές έχουν άγνοια σχετικά με τον Έξυπνο Μετρητή και την εγκατάστασή του. Τέλος, η παρούσα εργασία μπορεί δυνητικά να επιτρέψει την αλλαγή και την ανάγνωση ανησυχιών στην αγορά που είναι επίσης ένα κίνητρο για τη διεξαγωγή αυτής της μελέτης.

6.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Στο σημείο αυτό γεννιούνται στον αναγνώστη ορισμένα ερωτήματα που αφορούν ως επί τω πλείστον τις συνθήκες τις παραμέτρους και τις μεθόδους μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση έξυπνων μετρητών.

Ερώτημα 1 : Ποιες είναι οι μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας των οικιακών συσκευών σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου;

Ερώτημα 2 : Πώς μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας ενός νοικοκυριού και την υπέρθεση τους;

Ερώτημα 3 : Ποια είναι η απαιτούμενη μείωση κατανάλωσης ρεύματος στις οικιακές συσκευές προκειμένου να επιτευχθεί ισοπέδωση της καμπύλης της καθημερινής κατανάλωσης ενός νοικοκυριού;

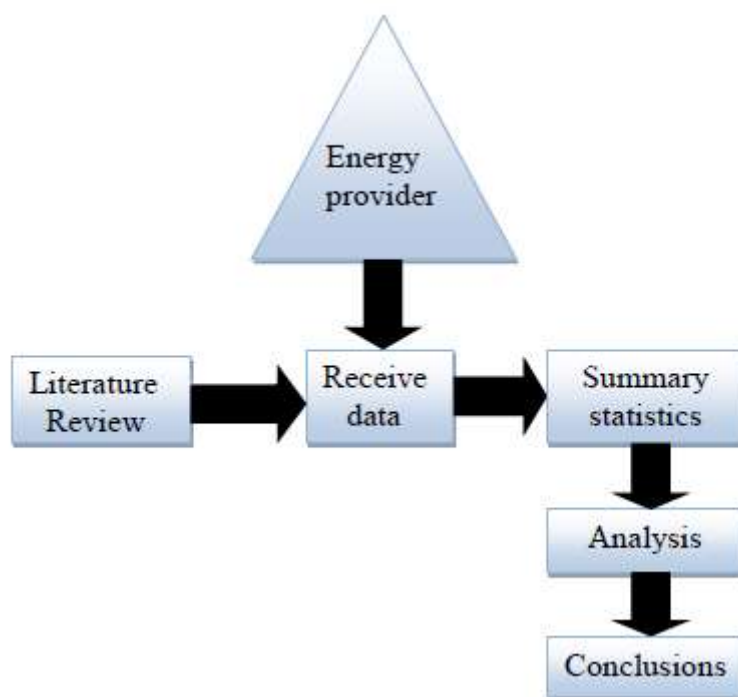
Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα διατυπώνεται για την ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με τις μεθόδους μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το πιο σημαντικό, οι υποθέσεις και οι παραλλαγές με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο καταγράφονται και αναλύονται. Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα πλασιώνεται για να φιλτράρει διαφορετικούς τύπους μοντέλων και να επιλέξει ένα κατάλληλο μοντέλο για την προσαρμογή των δεδομένων. Επιπλέον, ένας έξυπνος τρόπος υπέρθεσης των δεδομένων είναι απαραίτητος για την παρατήρηση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών. Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα διατυπώνεται προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος για την ελάττωση της καθημερινής κατανάλωσης ρεύματος σε ένα νοικοκυριό (βελτιστοποίηση κατανάλωσης).

6.4 Μεθοδολογία Έρευνας

Η ερευνητική μεθοδολογία που εμπλέκεται στην έρευνά μας με χρήση μελέτης περίπτωσης και τα στάδια που ακολουθούνται για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων είναι τα παρακάτω:

1. Στο πρώτο στάδιο της έρευνας πρέπει να πραγματοποιήσουμε βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τους Έξυπνους Μετρητές. Τα δεδομένα που μετρούνται με χρήση έξυπνων μετρητών λαμβάνονται από έναν πάροχο ενέργειας. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα δεδομένα απεικονίζονται σε γραφήματα και γίνονται παρατηρήσεις σχετικά με την κατανάλωση, την τιμή-κόστος, το σωρευτικό κόστος του νοικοκυριού και περαιτέρω στατιστική ανάλυση. Ειδικότερα, σε αυτό το στάδιο το

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στατιστικά από τα δεδομένα που προέκυψαν. Η ροή της μεθοδολογίας της έρευνας φαίνεται στην Εικόνα 6.1.



Εικόνα 6.1: Ροή Μεθοδολογίας Έρευνας(research gate.net)

2. Στο δεύτερο στάδιο της έρευνας επιλέγεται μοντέλο πρόβλεψης. Η αντιστοίχιση μοντέλου θα πρέπει να γίνει μετά την επιλογή μοντέλου, η οποία ακολουθείται από επικύρωση. Διαφορετικά πρότυπα οικιακής κατανάλωσης ενέργειας και κόστους μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας την ARIMA. Επεξεργάζονται διάφορα σύνολα δεδομένων για να ληφθούν συσχετίσεις τιμής-κατανάλωσης για την παρατήρηση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών χρησιμοποιώντας υπέρθεση.

3. Στο τρίτο στάδιο της έρευνας, εντοπίζεται και αναπτύσσεται μια μέθοδος ισοπέδωσης των καταναλωτικών προτύπων, με στόχο την ισοπέδωση των καθημερινών προτύπων και την προσπάθεια αλλαγής της στάσης των καταναλωτών. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα από την ανάλυση.

6.5 Μελέτη περίπτωσης

Μια ανάλυση δεδομένων που περιλαμβάνει μια μέθοδο έρευνας ονομάζεται μελέτη περίπτωσης. Είχαν ακολουθηθεί ορισμένα βήματα στη μελέτη περίπτωσης της έρευνάς μας. Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Στο πρώτο βήμα της μελέτης μας, τα δεδομένα του Smart Meter λαμβάνονται από το διαδίκτυο σε βάσεις δεδομένων που είναι ελεύθερα προσβάσιμες.
2. Τα δεδομένα του Smart Meter είναι επικυρωμένα καθώς λαμβάνονται από έναν πάροχο υπηρεσιών κοινής ωφέλειας(Δ.Ε.Η.).
3. Τα ληφθέντα δεδομένα περιέχουν δύο σελιδιαίδια Microsoft Excel.
 - α) Το πρώτο φύλλο excel περιέχει τιμές τιμών από τις ημέρες 1 έως 30 του μήνα Απριλίου 2012. Το όνομα που καθορίζεται για αυτό το φύλλο είναι «Spotpriser April 2012». Εξετάσαμε τις τιμές τιμής της περιοχής η οποία αναφέρεται ως «SE4» στο φύλλο. Η ωριαία τιμή ποικίλλει για κάθε μέρα, δηλαδή κάθε μέρα έχει 24 διαφορετικές τιμές.
 - β) Το δεύτερο φύλλο περιέχει τιμές δεδομένων κατανάλωσης Smart Meter 16 νοικοκυριών. Οι τιμές 24ωρης κατανάλωσης ανά ημέρα και νοικοκυριό περιλαμβάνονται στο φύλλο Excel. Τα δεδομένα στο φύλλο κυμαίνονται από την ημέρα 30 έως την 1η ημέρα του μήνα Απριλίου. Θεωρήσαμε την ώρα από 1:00 ώρα έως 23:00 ώρα της τρέχουσας ημέρας στο φύλλο ως έχει, και 00:00 ώρα της επόμενης ημέρας που θεωρείται ως 24:00 ώρα της σημερινής ημέρας. Αυτά τα δεδομένα παρατηρούνται προσεκτικά και σημειώνονται σε ξεχωριστό φύλλο Excel. Απαιτείται προσεκτική παρατήρηση κατά τη μετακίνηση των δεδομένων από το ένα φύλλο στο άλλο, καθώς η παράλειψη δεδομένων έχει μεγάλο αντίκτυπο στα αποτελέσματα. Για λόγους ανωνυμίας και ιδιωτικότητας, τα 16 νοικοκυριά αναφέρονται με αριθμό από 1 έως 16.
4. Αφού διαβάσουμε τα δεδομένα, πρέπει να ερμηνεύσουμε τα πραγματικά δεδομένα του Smart Meter σε ένα νέο φύλλο Excel. Στο διατυπωμένο φύλλο κανονίσαμε την ώρα (1:00 έως 24:00 ώρα), τιμή, κατανάλωση ενέργειας και υπολογισμός κόστους, σωρευτικό κόστος, σωρευτική κατανάλωση, αυτοσυσχέτιση τιμής υστέρησης 1, κόστος, κατανάλωση ενέργειας και συσχετίσεις τιμής-κόστους, προσδιορίζεται η τιμή-κατανάλωση και το κόστος-κατανάλωση.
5. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, σχεδιάζονται γραφήματα για τον χρόνο έναντι της κατανάλωσης (KWh), τον χρόνο έναντι της τιμής, τον χρόνο έναντι του κόστους και τον χρόνο έναντι του σωρευτικού κόστους. Ο χρόνος απεικονίζεται στον άξονα x και η κατανάλωση στον άξονα y για γράφημα κατανάλωσης χρόνου, ο χρόνος στον άξονα x και η τιμή στον άξονα y για το γράφημα χρόνου-τιμής, ο χρόνος

στον άξονα x και κόστος στον άξονα y για το γράφημα χρόνου-κόστους, και τέλος για το γράφημα χρόνου-σωρευτικού κόστους, ο χρόνος απεικονίζεται στον άξονα x και το σωρευτικό κόστος στον άξονα y.

6. Συσχέτιση: Είναι ένα στατιστικό μέτρο για το πώς κινούνται δύο μεταβλητές σε σχέση μεταξύ τους. Κυμαίνεται μεταξύ +1 και -1. Είναι δύο τύπων.

Θετική συσχέτιση: Μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή όσο μειώνεται η μία μεταβλητή, μειώνεται και η άλλη μεταβλητή και όταν η μία μεταβλητή αυξάνεται η άλλη μεταβλητή αυξάνεται ονομάζεται θετική συσχέτιση. Στις στατιστικές, η μέγιστη τιμή της θετικής συσχέτισης αντιπροσωπεύεται από +1.

Αρνητική συσχέτιση: Μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών που κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή καθώς η μία μεταβλητή μειώνεται, η άλλη μεταβλητή αυξάνεται και καθώς αυξάνεται η μία μεταβλητή, η άλλη μεταβλητή μειώνεται ονομάζεται αρνητική συσχέτιση.

Εκτός από αυτόν τον υπολογισμό της συσχέτισης τιμής-κόστους, γίνεται η συσχέτιση τιμής κατανάλωσης και συσχέτισης κόστους-κατανάλωσης, ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διακύμανσης για την τιμή, το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας.

7. Τα παραπάνω υπολογισμένα βήματα επαναλαμβάνονται για όλες τις ημέρες του μήνα ανά νοικοκυριό. Παρόμοια γραφήματα δημιουργούνται και για τα 16 νοικοκυριά από τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

8. Η πλήρης ανάλυση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη βοήθεια άλλου ταξινομημένου φύλλου. Έτσι, ονομάσαμε αυτά τα φύλλα με έναν αριθμό που αντιπροσωπεύει το νοικοκυριό. Σε αυτό το καθορισμένο φύλλο, υπολογίσαμε το πραγματικό σωρευτικό κόστος, το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή, τη διαφορά του πραγματικού σωρευτικού κόστους και το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή. Η συσχέτιση της τιμής με την κατανάλωση γίνεται καθώς η θετική συσχέτιση αναμένεται να αποφέρει υψηλό σωρευτικό κόστος. Υπολογίζεται μια σύγκριση των σωρευτικών με βάση την

ωριαία τιμή με εκείνων που βασίζονται στη μέση τιμή, επειδή αυτό αποκαλύπτει πότε οι ωριαίες τιμές είναι μειονεκτική/συμφέρουσα για τους καταναλωτές. Παρουσιάζονται δύο γραφήματα, ένα με τον αριθμό της ημέρας στον άξονα x και τη συσχέτιση τιμής-κατανάλωσης στον άξονα y που αντιπροσωπεύεται ως γράφημα συσχέτισης, ένα άλλο με διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή στο y- άξονα και τον αριθμό της ημέρας στον άξονα x που αντιπροσωπεύει το γράφημα διαφοράς.

9. Οι μέγιστες τιμές δεδομένων όπως η τιμή, η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας και το κόστος τεκμηριώνονται ανεξάρτητα σε φύλλα του «Microsoft Power Point» για καλύτερη κατανόηση. Η ανάλυση πραγματοποιείται ως συνδυασμός 16 οικιακών αποτελεσμάτων και τα γραφήματα συσχέτισης/διαφορών παρουσιάζονται σε φύλλα excel.

Διασταυρούμενη συσχέτιση: Η διασταυρούμενη συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης και τιμής είναι ένα μέτρο για να γνωρίζουμε πόσο αποτελεσματική ήταν η ωριαία χρέωση για τον πελάτη. Είναι ένα μέτρο για αλληλεξαρτήσεις.

+100%: τιμή και κατανάλωση διαδέχονται η μία την άλλη είτε προς τα πάνω/κάτω

± 0 : η τιμή και η κατανάλωση είναι περίπου ανεξάρτητες

-100%: η αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης και αντίστροφα

- Για θετική συσχέτιση, υπάρχει η τάση να συμβαίνουν χαμηλές τιμές μαζί με υψηλή κατανάλωση.

- Για αρνητική συσχέτιση, υπάρχει η τάση να εμφανίζονται χαμηλές τιμές μαζί με χαμηλό κόστος.

Οι αναφερόμενοι συσχετισμοί στην παρούσα έρευνα βοηθούν τον αναγνώστη με πολύ ευκολότερη και ταχύτερη ανάλυση.

10. Έγινε αναζήτηση μοντέλου και βρέθηκε ότι το εργαλείο XLSTAT ταιριάζει στον συνδυασμό επιλογής μοντέλου και πρόβλεψης. Διάφορα μοντέλα ARIMA ελέγχονται λαμβάνοντας δεδομένα κατανάλωσης ως αναφορά ενός νοικοκυριού και γίνεται

σύγκριση όλων των μοντέλων για την αναζήτηση του καλύτερου προσαρμοσμένου μοντέλου.

11. Ο προσδιορισμός του μοντέλου ARIMA που ταιριάζει καλύτερα τελικά επιλέγεται και σχεδιάζεται για διαφορετικές περιπτώσεις. Οι παράμετροι AIC και SBC του μοντέλου είναι αρκετά χαμηλές και το μοντέλο τοποθετείται στο αρχικό γράφημα σε σύγκριση με άλλα μοντέλα. Σύμφωνα με τα τυπικά στατιστικά στοιχεία, οι αναφερόμενες τιμές παραμέτρων πρέπει να είναι χαμηλές. Το μοντέλο με το χαμηλότερο AIC και SBC έχει την τάση να παρουσιάζει καλά αποτελέσματα. Επιπλέον, διαφορετικά χαρακτηριστικά παρατήρησης του μοντέλου παρουσίασαν επίσης διάφορα άψογα αποτελέσματα. Καθώς η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια αντικατοπτρίζουν έντονα τη φύση του μοντέλου μας παρακίνησε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το μοντέλο στην ερευνητική μας εργασία.

12. Τέλος, παρατηρείται ισοπέδωση του καταναλωτικού προτύπου.

13. Με την εκτέλεση των παραπάνω βημάτων, η μελέτη περίπτωσης πραγματοποιείται με επιτυχία.

6.6 Αποτελέσματα

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 1

Ποιες είναι οι μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας των οικιακών εφαρμογών σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου;

Το ερευνητικό ερώτημα χωρίζεται σε δύο συμπληρωματικές κατευθύνσεις έρευνας ως εξής:

Μέθοδοι μέτρησης:

Υπάρχουν πολλοί παραδοσιακοί τρόποι αξιολόγησης του μετρητή και των δεδομένων του. Ο καλύτερος τρόπος αξιολόγησης του μετρητή εφαρμόζεται με τη χρήση έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας αντί της επιλογής των παραδοσιακών μετρητών. Οι μέθοδοι μέτρησης της ενέργειας προηγούμενης και επόμενης γενιάς επεξηγούνται στο υπόβαθρο αυτής της διατριβής. Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση [51] πραγματοποιήθηκε για να απαντηθεί η ερώτηση. Η παρουσίαση αυτού του μέρους του ερευνητικού ερωτήματος και η απάντησή του επικαλούνται κυρίως μια εντυπωσιακή γνώση για τους ανθρώπους διαφόρων ανεπτυγμένων και υπανάπτυκτων χωρών σχετικά με τις θεμελιώδεις αλλαγές στην αγορά ηλεκτρικής

ενέργειας. Από τη βιβλιογραφική έρευνα και τις τελικές προτάσεις της έρευνας, διαπιστώθηκε ότι ο Έξυπνος Μετρητής είναι ο αποτελεσματικός μετρητής για τη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας του νοικοκυριού σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου.

Ανάλυση:

Αποκτήσαμε δεδομένα ωριαίας κατανάλωσης ρεύματος σε πραγματικό χρόνο 16 νοικοκυριών και τιμές για τον μήνα Απρίλιο από πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή φύλλων excel. Ο χρόνος, η τιμή, το κόστος, η κατανάλωση, η σωρευτική κατανάλωση, το σωρευτικό κόστος παρουσιάζονται σε πίνακα στο φύλλο excel. Υπολογίζεται η αυτοσυσχέτιση Lag-1, η συσχέτιση τιμής-κόστους, η συσχέτιση τιμής-κατανάλωσης, η συσχέτιση κόστους-κατανάλωσης, ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διακύμανσης τιμής, κόστους και κατανάλωσης. Κάθε παράγοντας που προσδιορίζεται παραπάνω παρατίθεται σε πίνακα για εύκολη κατανόηση. Τα δεδομένα είναι ταξινομημένα και για τα 16 νοικοκυριά και σχεδιάζονται γραφήματα για την κατανάλωση, την τιμή, το κόστος και το σωρευτικό κόστος. Οι παράμετροι που απαιτούνται ορίζονται ως εξής.

- Ισχύς: Η ισχύς ορίζεται ως η ενέργεια που καταναλώνεται ανά μονάδα χρόνου.

$$\text{Ισχύς} = e/t$$

όπου e είναι η κατανάλωση ενέργειας σε KWht είναι ο χρόνος

- Κόστος (γ): Το κόστος υπολογίζεται ως το γινόμενο της τιμής και της κατανάλωσης ενέργειας. Η μονάδα μέτρησης είναι σε χρηματικές μονάδες.

$$c = p.e$$

όπου e είναι η κατανάλωση ενέργειας σε KWhr είναι η τιμή σε νομισματικές μονάδες/KWh

- Μέσος όρος (m): Ορίζεται ως άθροισμα διαφορετικών ποσοτήτων διαιρεμένο με τον συνολικό αριθμό αυτών των ποσοτήτων. Διατυπώνεται ως εξής:

$$m = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n X_i$$

Όπου n είναι ο συνολικός αριθμός όρων

Το X_i είναι η τιμή κάθε μεμονωμένου στοιχείου $i = 1, 2, 3,$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

- Τυπική απόκλιση (s): Ένα μέτρο διασποράς ενός συνόλου δεδομένων από το μέσο όρο του ονομάζεται τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται ως τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης. Διατυπώνεται ως εξής:

$$s = \sqrt{1/(n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

όπου n είναι ο συνολικός αριθμός όρων

X_i είναι η αξία $i^{\text{ου}}$ όρων

$\bar{X}$ είναι ο μέσος όρος

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

- Αυτοσυσχέτιση: Μια μαθηματική αναπαράσταση του βαθμού ομοιότητας μεταξύ μιας δεδομένης χρονικής σειράς και μιας καθυστερημένης εκδοχής της σε διαδοχικά χρονικά διαστήματα ονομάζεται αυτοσυσχέτιση [7].

$$r_k = \left(\sum_{i=1}^{n-k} (y_i - \bar{y})(y_{i+k} - \bar{y}) \right) / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

όπου r_k είναι υστέρηση καυτοσυσχέτιση

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$k = 1, 2, 3, \dots, n$

n είναι ο συνολικός αριθμός όρων

$\bar{y}$ είναι μέσος όρος n όρων

- Αθροιστική κατανάλωση (E_i): Η αθροιστική κατανάλωση είναι το άθροισμα των ωριαίων καταναλώσεων κατά τις πρώτες i ώρες της ημέρας. Η πρώτη τιμή της σωρευτικής κατανάλωσης λαμβάνεται ως έχει από την κατανάλωση.

$$E_i = e_i + E_{i-1}$$

όπου E_i είναι η σωρευτική κατανάλωση

$i = 2, 3, 4, \dots, n$

e_i είναι η κατανάλωση

E_{i-1} είναι η προγενέστερη σωρευτική κατανάλωση

- Σωρευτικό κόστος (C_i): Το σωρευτικό κόστος είναι το άθροισμα των ωριαίων δαπανών κατά τις πρώτες i ώρες της ημέρας. Η πρώτη τιμή του σωρευτικού κόστους λαμβάνεται ως είναι από το κόστος.

$$C_i = c_i + C_{i-1}$$

όπου C_i είναι το σωρευτικό κόστος κατά την $i^{\text{η}}$ ώρα

$i = 2, 3, 4, \dots, n$

c_i είναι το κόστος στην $i^{\text{η}}$ ώρα

C_{i-1} είναι το πρότερο σωρευτικό κόστος

Συντελεστής διακύμανσης: Ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τον μέσο όρο ονομάζεται συντελεστής διακύμανσης. Διατυπώνεται ως εξής:

Συντελεστής διακύμανσης = (Τυπική απόκλιση / Μέσος όρος)

- Το γινόμενο της μέσης τιμής και της μεγαλύτερης αξίας της σωρευτικής κατανάλωσης ονομάζεται σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή. Διατυπώνεται ως εξής:

$$ACum = E \cdot P$$

Όπου ACum είναι το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή

$$E = \sum_{i=1}^{24} e_i$$

$$\bar{p} = 1 / 24 \sum_{i=1}^{24} p_i$$

Το άθροισμα του προϊόντος της κατανάλωσης και της τιμής σε μια συγκεκριμένη ώρα ονομάζεται σωρευτικό κόστος με βάση την ωριαία τιμή. Διατυπώνεται ως εξής:

$$HCum = \sum_{i=1}^{24} e_i \cdot p_i$$

Όπου HCum είναι το σωρευτικό κόστος με βάση την ωριαία τιμή

i είναι η ώρα της ημέρας

E είναι το άθροισμα της κατανάλωσης μιας ημέρας

Το e_i είναι κατανάλωση συγκεκριμένης ώρας

Το p_i είναι η τιμή σε συγκεκριμένη ώρα

Το $\bar{p}$ είναι η μέση τιμή

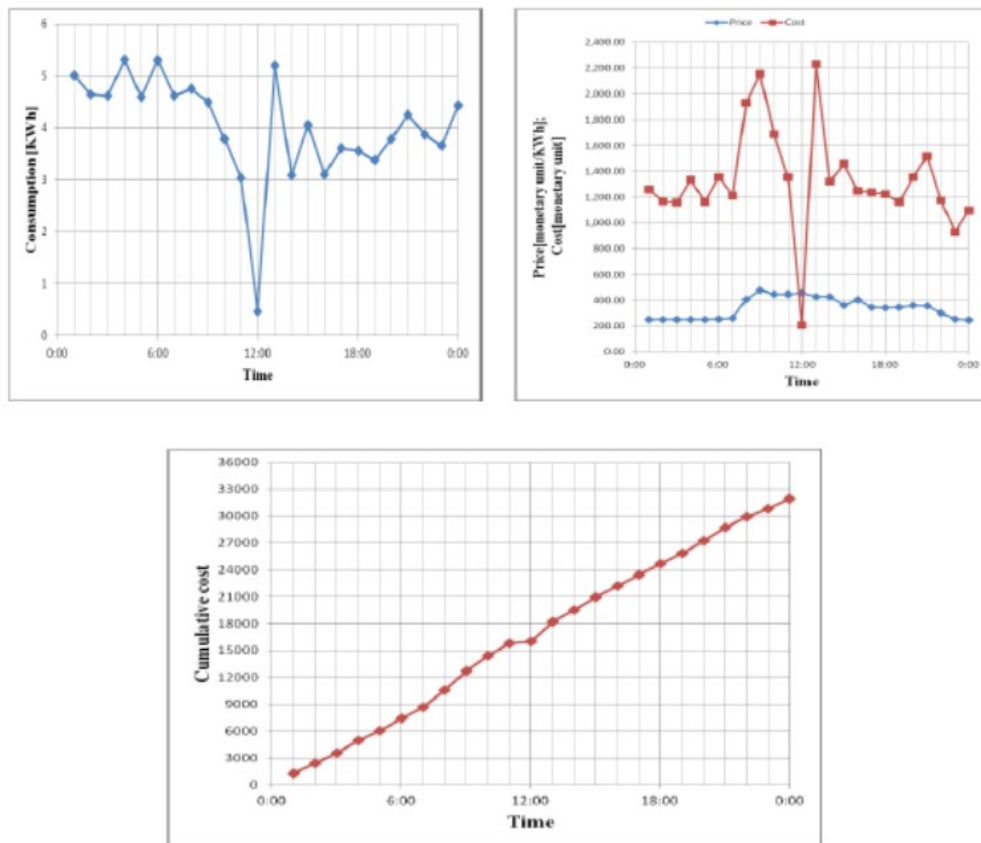
Με βάση τα δεδομένα που αναλύθηκαν συστηματικά, τα γραφήματα σχεδιάζονται ως εξής. Τα επιλεγμένα γραφήματα εμφανίζονται στην αναφορά καθώς τα δεδομένα είναι ενδιαφέροντα.

☐ Το γράφημα κατανάλωσης ενέργειας ορισμένων νοικοκυριών φαίνεται στα παρακάτω σχήματα λαμβάνοντας υπόψη την κατανάλωση (KWh) στον άξονα y και τον χρόνο (24 ώρες) στον άξονα x .

□ Το γράφημα τιμών και κόστους ορισμένων νοικοκυριών φαίνονται στα παρακάτω σχήματα λαμβάνοντας υπόψη την τιμή, το κόστος στον άξονα γ και τον χρόνο (24 ώρες) στον άξονα χ.

□ Το γράφημα σωρευτικού κόστους ορισμένων νοικοκυριών παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα λαμβάνοντας υπόψη το σωρευτικό κόστος στον άξονα γ και το χρόνο (24 ώρες) στον άξονα χ.

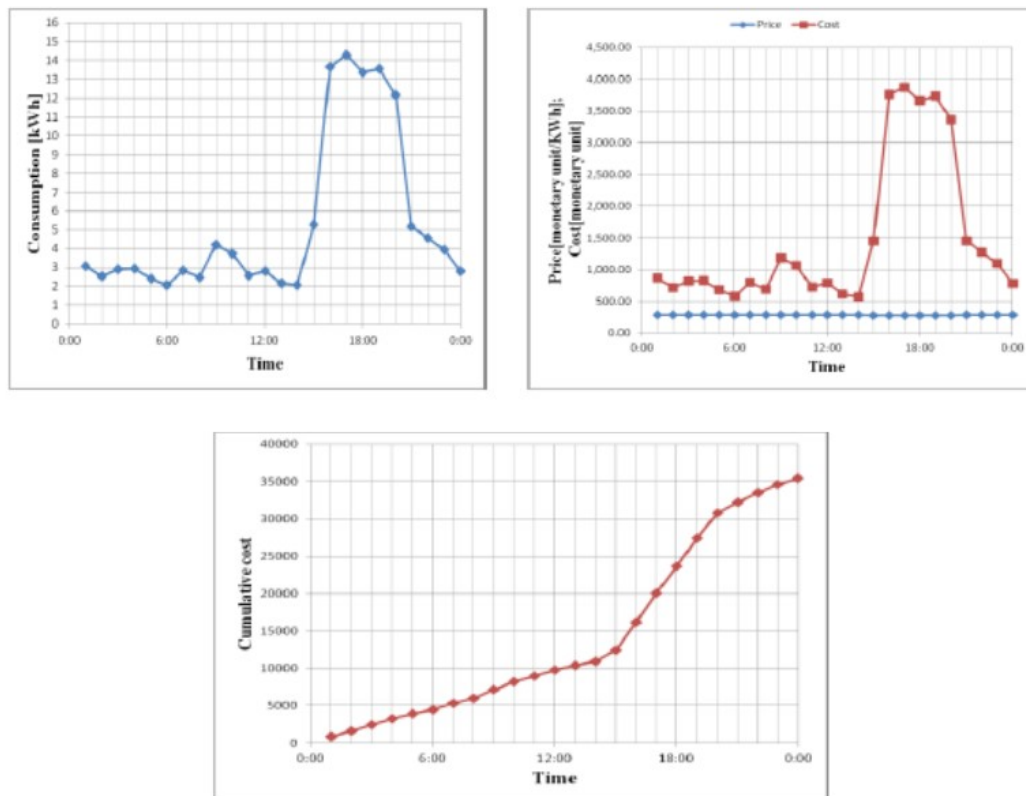
Τρία γραφήματα για την κατανάλωση (Εικόνα 6.2), την τιμή-κόστος και το σωρευτικό κόστος σε μια συγκεκριμένη ημέρα ενός νοικοκυριού, τα οποία είναι ενδιαφέροντα για κάποιους συγκεκριμένους λόγους, φαίνονται παρακάτω. Αυτό είναι το πρώτο βήμα της αξιολόγησης πολλαπλών γραφημάτων για περαιτέρω αναφορές.



Εικόνα 6.2: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 3 στις 3 Απριλίου

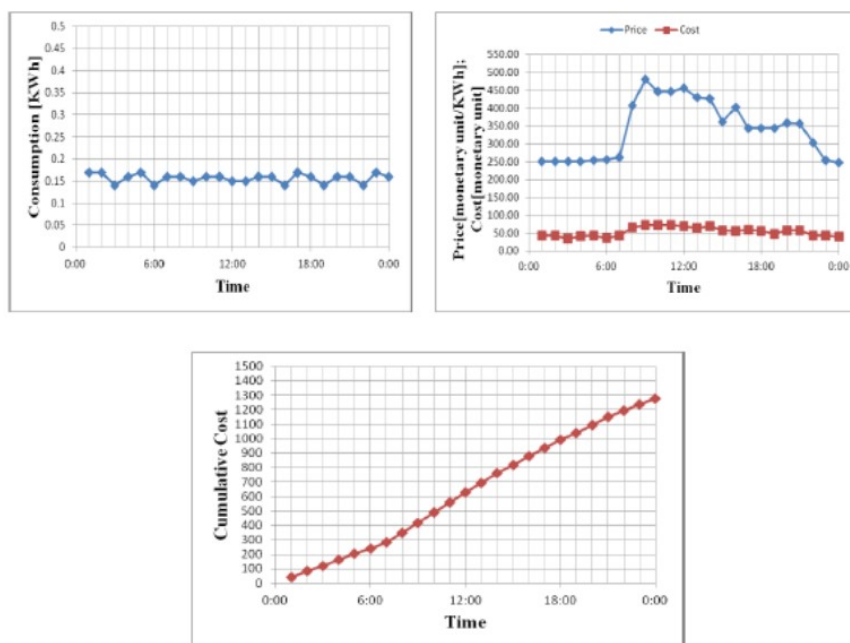
Η κατανάλωση ενέργειας που φαίνεται στη παραπάνω εικόνα για το νοικοκυριό 3 μειώνεται από τις 8:00 έως τις 12:00 και αυξάνεται απότομα από τις 12:00 έως τις 13:00. Το αθροιστικό γράφημα κόστους αυξάνεται σχεδόν γραμμικά από τις 1:00 έως τις 24:00. Ο χρήστης πρέπει να είναι αρκετά έξυπνος ώστε να διαδραματίζει ασφαλέστερο ρόλο στην αποτελεσματική χρήση της ενέργειας αποφεύγοντας τις αιχμές. Από την Εικόνα 6.3 για το νοικοκυριό 5, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας σε

σύγκριση με άλλα νοικοκυριά καταγράφεται στις 17:00 ώρα της 14ης Απριλίου. Η τιμή στις 14 Απριλίου ποικίλλει πολύ λιγότερο. Άρα το γράφημα της τιμής παρατηρείται ως σταθερό. Καθώς ο χρήστης καταναλώνει πολλή ενέργεια, ο παράγοντας κόστους είναι υψηλός, παρόλο που η τιμή είναι χαμηλή. Από το γράφημα αθροιστικού κόστους, συμπεραίνουμε ότι η καμπύλη δεν αυξάνεται γραμμικά αλλά γίνεται πολύ πιο απότομη σε ώρες υψηλής κατανάλωσης.

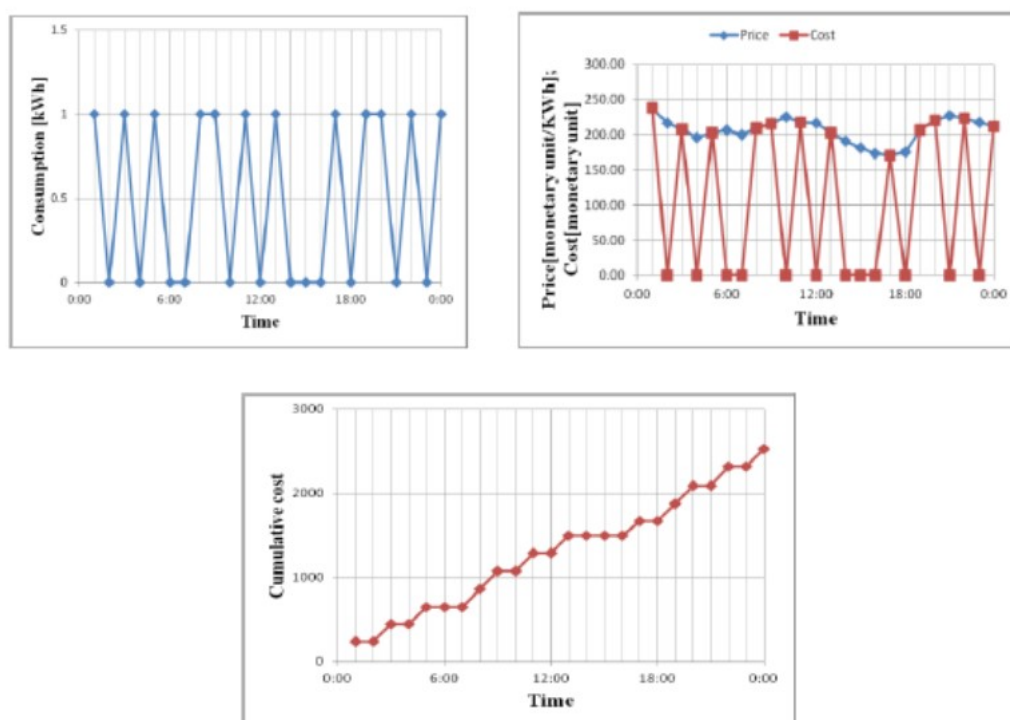


Εικόνα 6.3: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 5 στις 14 Απριλίου

Από την Εικόνα 6.4 για το νοικοκυριό 6, παρατηρείται κατανάλωση ενέργειας με πολύ χαμηλή κατανάλωση στις 3 Απριλίου. Καθώς η κατανάλωση είναι πολύ χαμηλή, το κόστος είναι επίσης χαμηλό, καθώς είναι προϊόν τιμής και κατανάλωσης. Το σωρευτικό κόστος αυξάνεται σχεδόν γραμμικά από τη 1:00 έως τις 24:00, καθώς το κόστος δεν είναι σταθερό με την πάροδο του χρόνου. Από την Εικόνα 6.5 για το νοικοκυριό 7, παρατηρείται μετατόπιση κατανάλωσης μεταξύ 0 και 1. Αυτή η συμπεριφορά είναι διαφορετική από τα υπόλοιπα νοικοκυριά. Αυτή η ασυνήθιστη συμπεριφορά υποδεικνύει τον τύπο του μετρητή που μετρά μόνο πολλαπλάσια των kw. Εδώ ο χρήστης προειδοποιείται σχετικά με την ισχύ. Το σωρευτικό κόστος δεν αυξάνεται γραμμικά αλλά ακολουθεί ένα σταδιακό μοτίβο.



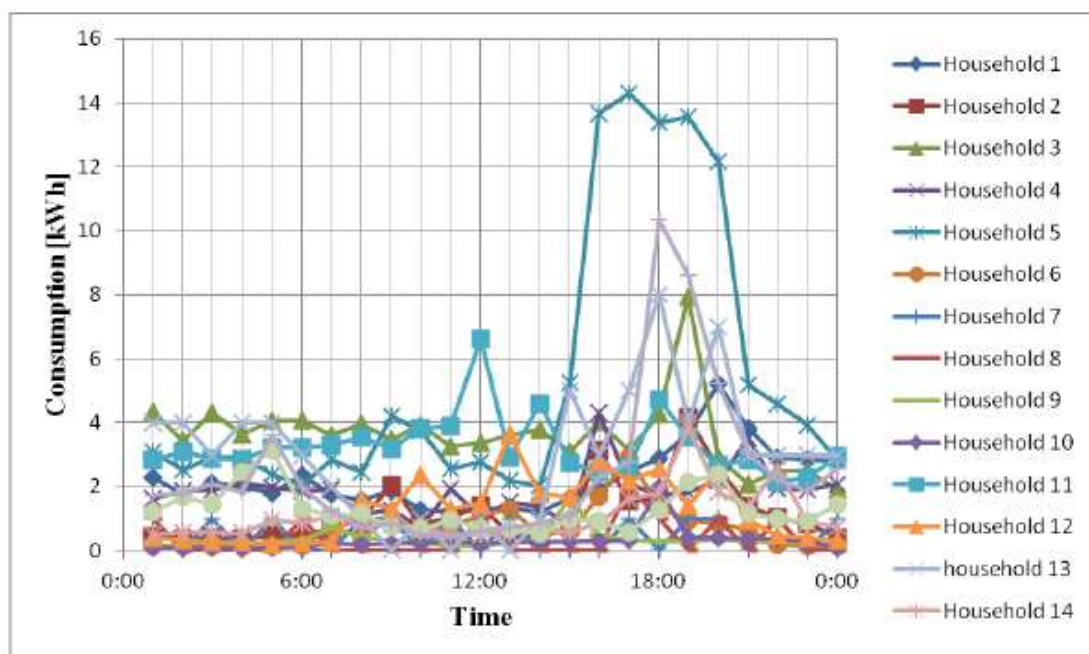
Εικόνα 6.4: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 6 στις 3 Απριλίου



Εικόνα 6.5: Κατανάλωση Ενέργειας, Τιμή, Κόστος και Σωρευτικό κόστος νοικοκυριού 7 την 1η Απριλίου

Τα γραφήματα για την κατανάλωση ενέργειας, την τιμή-κόστος και το σωρευτικό κόστος που δημιουργούνται παραπάνω μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες να μελετήσουν την καθημερινή τους χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς είναι δύσκολο να συγκριθούν χρονικά διαγράμματα, αξιολογείται η αναγκαιότητα κατανόησης της συσχέτισης. Οι παράμετροι που λαμβάνονται στο φύλλο δεδομένων συσχέτισης ορίζονται ακολούθως. Για τη διευκόλυνση των αναγνωστών, θα μπορούσαμε να

παρουσιάσουμε μόνο ένα συγκεκριμένο σύνολο μοτίβων νοικοκυριών, αποκαλύπτοντας κάπως ενδιαφέρουσες συμπεριφορές. Μετά από ανάλυση, διαπιστώσαμε ότι θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να συγκρίνουμε την κατανάλωση αιχμής όλων των νοικοκυριών κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ώρας τον Απρίλιο του 2022 σε ένα μόνο γράφημα. Συγκρίνοντας τις τιμές κατανάλωσης και των 30 ημερών σε 16 νοικοκυριά, επιλέγεται η υψηλή κατανάλωση για κάθε νοικοκυριό και απεικονίζεται σε ένα μόνο γράφημα ως αναφορά. Από την Εικόνα 6.6, το νοικοκυριό 5 κατανάλωσε τη μέγιστη ισχύ σε σύγκριση με άλλα νοικοκυριά.



Εικόνα 6.6: Μέγιστη κατανάλωση ενέργειας διαφορετικών νοικοκυριών

Συσχέτιση 16 νοικοκυριών: Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον υπολογισμό και την ανάλυση της συσχέτισης είναι τα εξής:

- Η συσχέτιση τιμής-κατανάλωσης, πραγματικό σωρευτικό κόστος, σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή και διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή υπολογίζεται για 30 ημέρες και των 16 νοικοκυριών.
- Δημιουργούνται δύο γραφήματα για κάθε νοικοκυριό (γράφημα συσχέτισης και διαφοράς).
- Τα γραφήματα συσχέτισης σχεδιάζονται με τη συσχέτιση στον άξονα y και τον αριθμό των ημερών στον άξονα x .

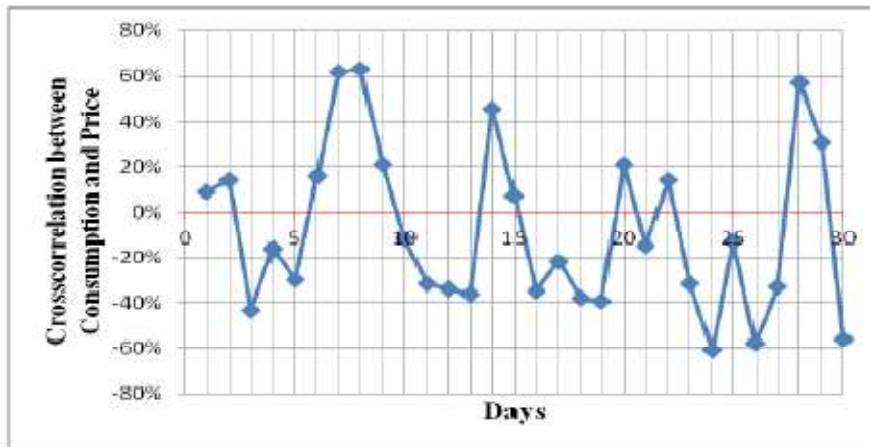
- Παρουσιάζονται γραφήματα διαφοράς μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή στον άξονα γ και τον αριθμό ημερών στον άξονα x.
- Αναλύοντας όλα τα γραφήματα και τα δεδομένα καταλάβαμε ότι τις ημέρες κατά τις οποίες η συσχέτιση μεταξύ τιμής και κατανάλωσης είναι θετική, το πραγματικό σωρευτικό κόστος είναι υψηλότερο από το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή, ενώ ημέρες κατά τις οποίες η συσχέτιση μεταξύ τιμής και κατανάλωσης Η κατανάλωση είναι αρνητική σημαίνει ότι το πραγματικό σωρευτικό κόστος είναι μικρότερο από το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή.
- Πραγματικό σωρευτικό κόστος, δηλαδή το σωρευτικό κόστος που προκύπτει με ωριαία τιμή συμβολίζεται με HCum και το σωρευτικό κόστος που βασίζεται στη μέση τιμή κατά τη διάρκεια της ημέρας συμβολίζεται με ACum. Ένας καταναλωτής με ωριαία τιμολόγηση ωφελείται εάν το HCum είναι μικρότερο από το ACum και χάνει εάν το HCum είναι μεγαλύτερο από το ACum.
- Ανάλογα με το πρόσημο της διασταυρούμενης συσχέτισης μεταξύ HCum και ACum, φτάνουμε στις ακόλουθες περιπτώσεις. Το κακό σενάριο δείχνει ότι η ωριαία τιμολόγηση οδηγεί σε υψηλότερο κόστος από τη μέση τιμολόγηση. Το καλό σενάριο υποδηλώνει ότι η ωριαία τιμολόγηση οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος από τη μέση τιμολόγηση.

Θετική συσχέτιση $HCum > ACum$ (Κακό σενάριο)

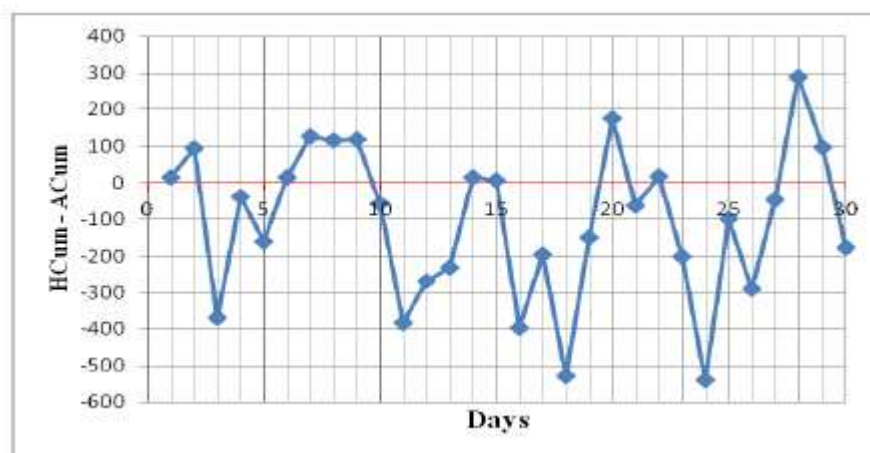
Αρνητική συσχέτιση $HCum < ACum$ (Καλό σενάριο)

Μη ύπαρξη συσχέτισης $HCum = ACum$ (Ουδέτερο σενάριο)

Εκτελείται συσχέτιση 16 νοικοκυριών ενώ μερικά από τα πιο ενδιαφέροντα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω. Από τις Εικόνες 6.7 και 6.8 του νοικοκυριού 1, παρατηρούμε ότι οι ημέρες αρνητικής συσχέτισης υποδηλώνουν ότι το HCum είναι μικρότερο από το ACum, που σημαίνει εξοικονόμηση με ωριαία τιμολόγηση.

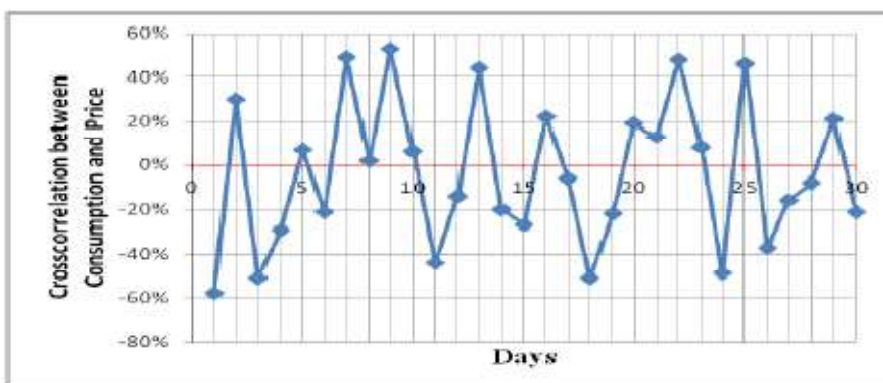


Εικόνα 6.7: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 1



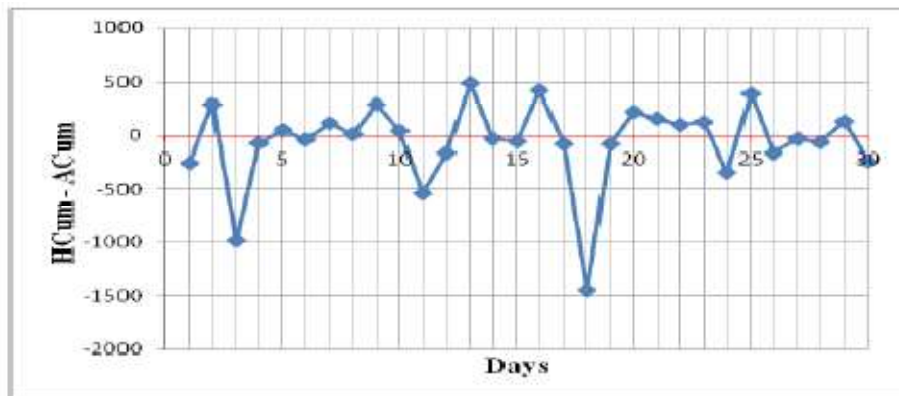
Εικόνα 6.8: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 1

Για τον χρήστη αυτό, συμβαίνει τις περισσότερες ημέρες (Εικόνα 6.9).



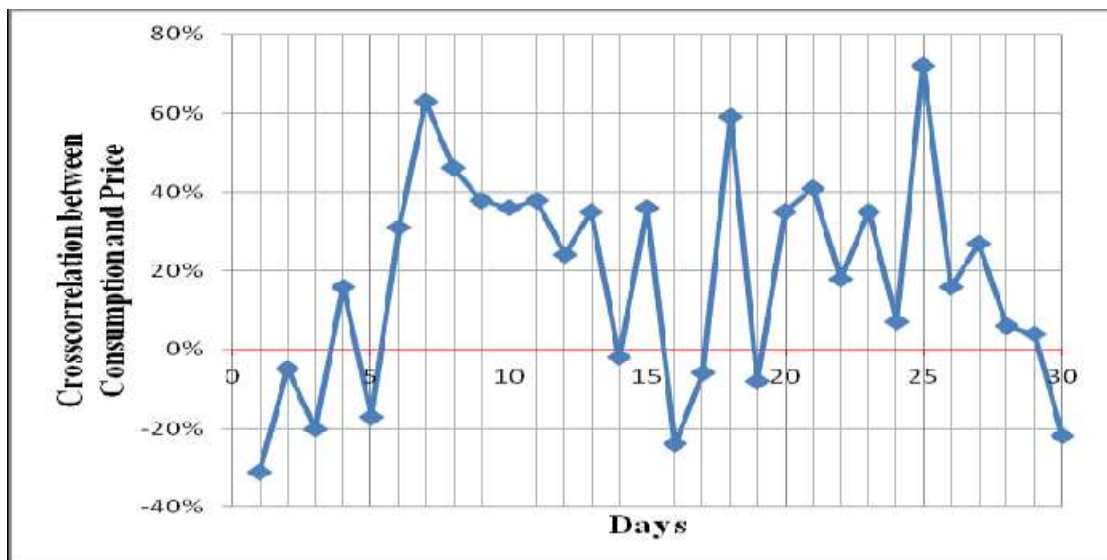
Εικόνα 6.9: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 3

Από την Εικόνα 6.10 του νοικοκυριού 3, η κατανάλωση του χρήστη είναι μερικώς αρνητική και εν μέρει θετικά συσχετιζόμενη με την τιμή. Η μέγιστη αρνητική διαφορά παρατηρείται στις 18 Απριλίου, κατά την οποία ο χρήστης βιώνει μια μέτρια μείωση του κόστους.

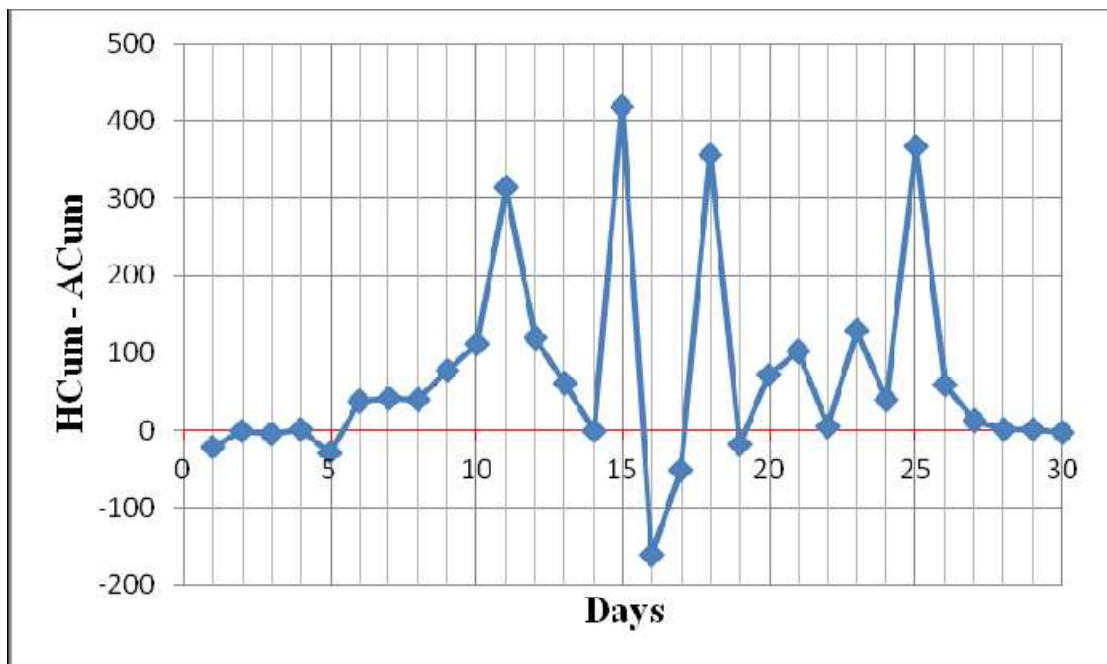


Εικόνα 6.10: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 3)

Από τις Εικόνες 6.11 και 6.12 για το νοικοκυριό 6, η κατανάλωση του χρήστη συσχετίζεται θετικά με την τιμή. Καθώς το HCum είναι μεγαλύτερο από το ACum οδηγεί σε θετική διαφορά, ο χρήστης χάνει κυρίως τον έλεγχο της κατανάλωσης.

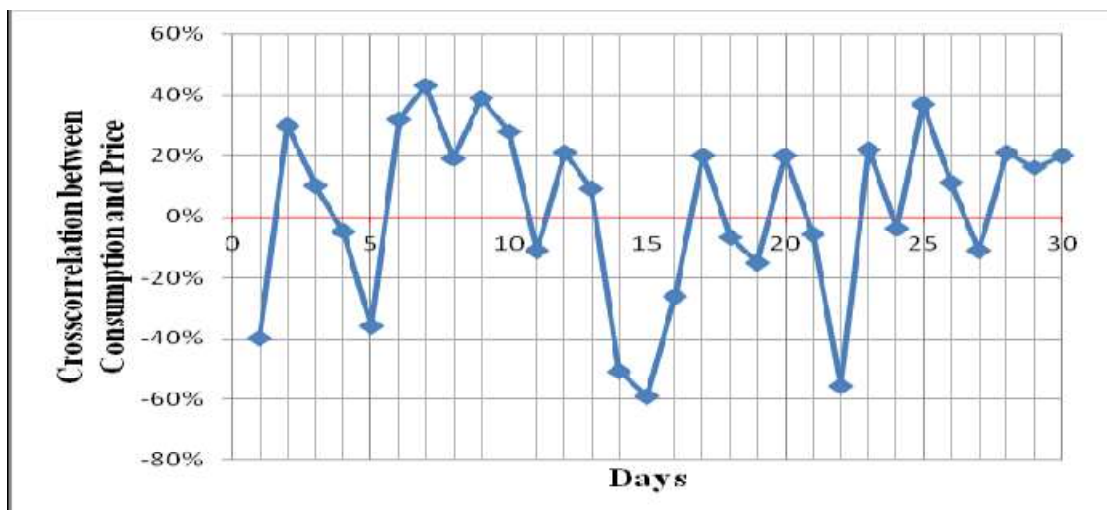


Εικόνα 6.11: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 6

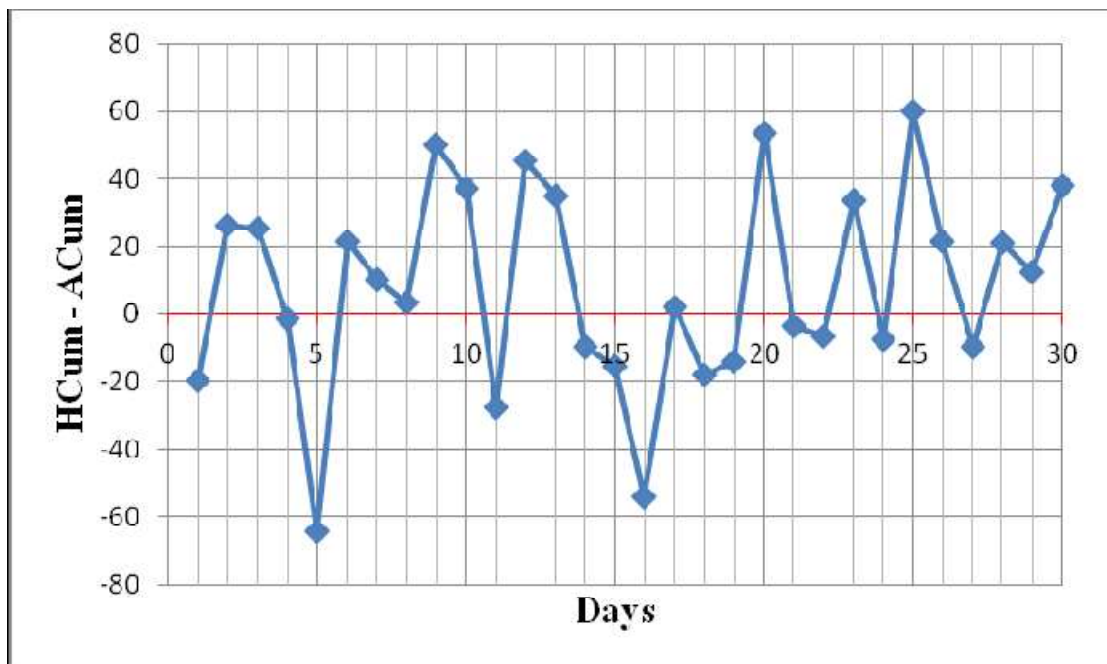


Εικόνα 6.12: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 6

Από τις Εικόνες 6.13 και 6.14 για το νοικοκυριό 10, η κατανάλωση του χρήστη έχει ως επί το πλείστον θετική συσχέτιση με την τιμή, όπου μπορεί να συμβουλευτεί κάποιον ειδικό για να αλλάξει τα μοτίβα κατανάλωσής του.

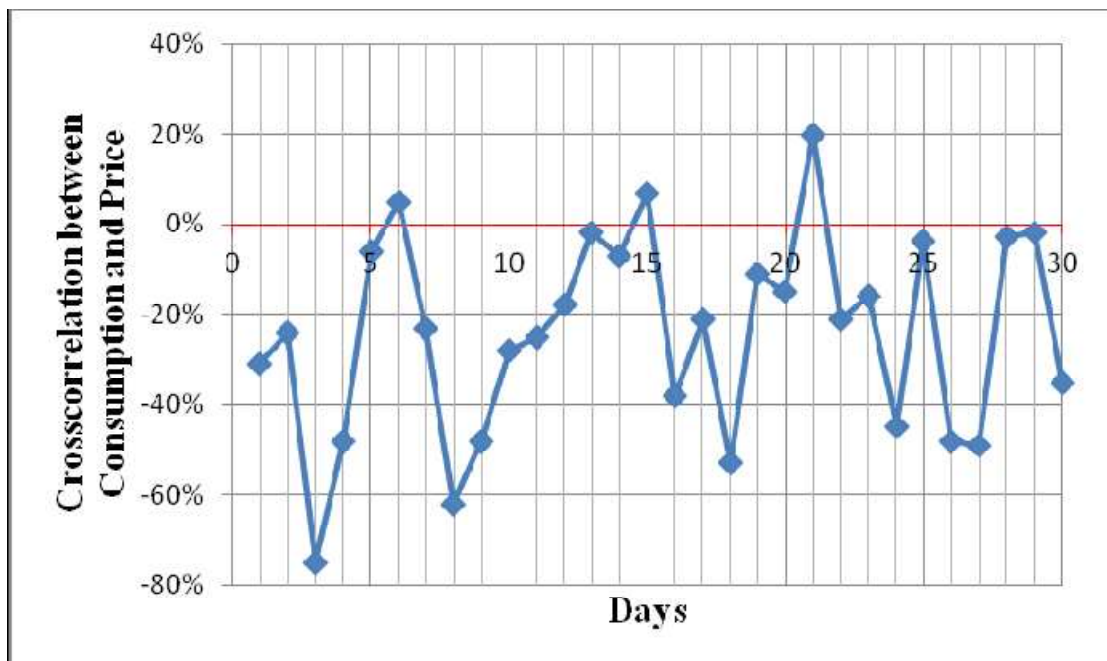


Εικόνα 6.13: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 10

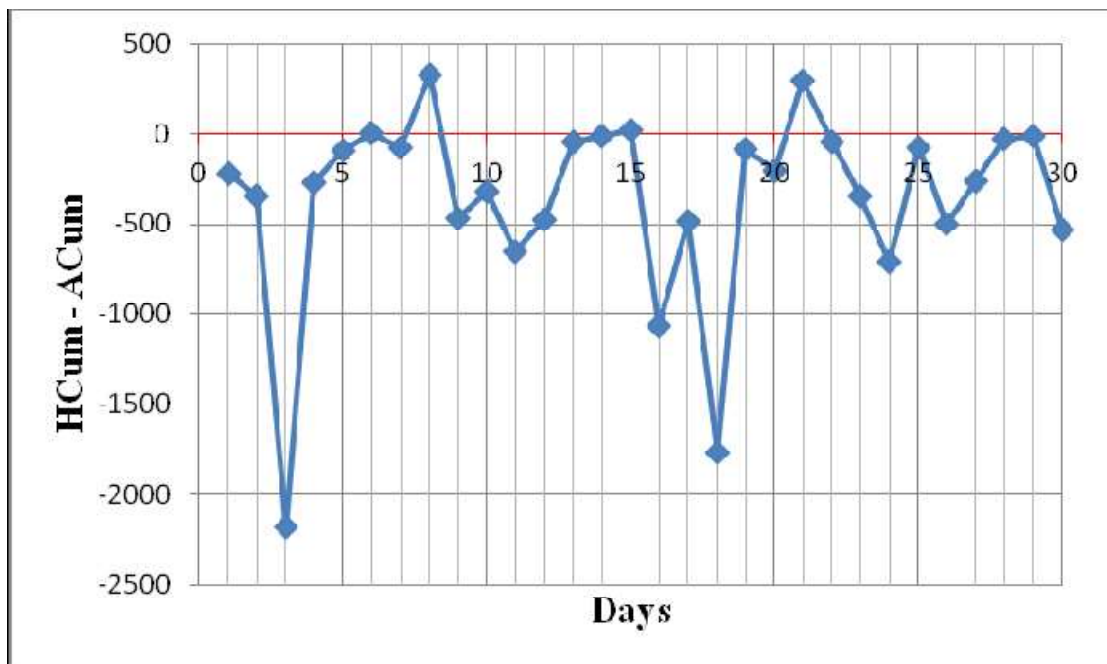


Εικόνα 6.14: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 10

Από τις Εικόνες 6.15 και 6.16 για το νοικοκυριό 13, η κατανάλωση του χρήστη συσχετίζεται αρνητικά με την τιμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη αρνητικών διαφορών. Αυτό το είδος χρήστη αποτελεί έμπνευση για τους υπόλοιπους χρήστες στον έλεγχο της ενέργειας.



Εικόνα 6.15: Γράφημα συσχέτισης για το νοικοκυριό 13



Εικόνα 6.16: Γράφημα διαφοράς για το νοικοκυριό 13

Από το τμήμα συσχέτισης των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε ότι όσο πιο αρνητική είναι η συσχέτιση, τόσο χαμηλότερο θα είναι το κόστος με βάση τις ωριαίες μετρήσεις και αντίστροφα. Εδώ τα αποτελέσματα του γραφήματος συσχέτισης είναι χρήσιμα για να επιτρέπουν στους χρήστες να σκεφτούν τον τρόπο ζωής τους και τα αντίστοιχα πρότυπα κατανάλωσης. Ο χρήστης μπορεί να μειώσει το κόστος στοχεύοντας παράλληλα την αρνητική συσχέτιση.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 2

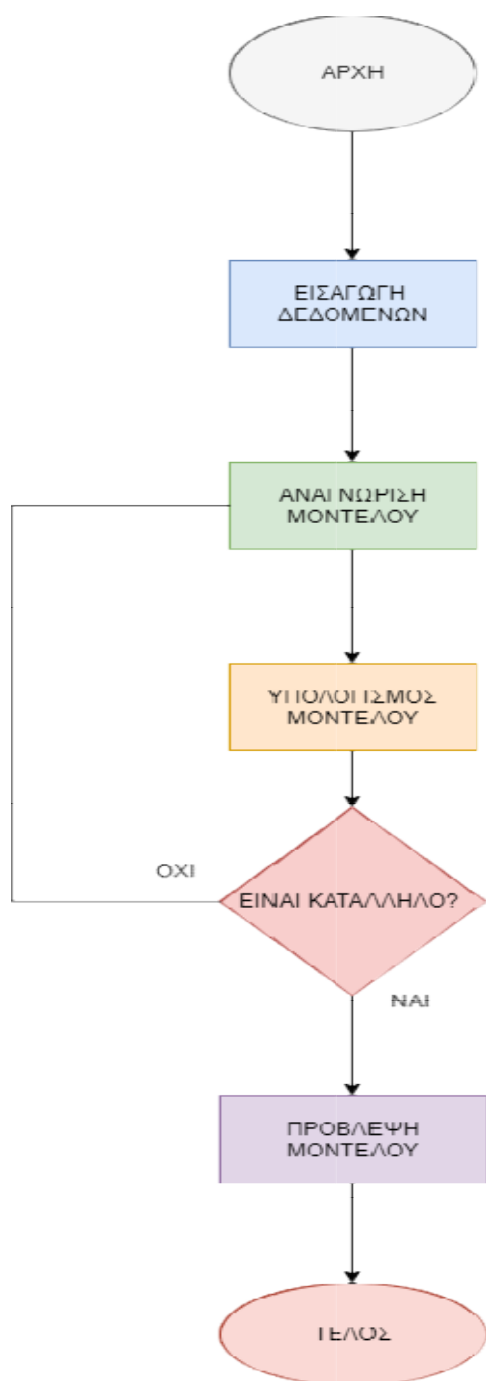
Πώς μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας των μεμονωμένων νοικοκυριών και την υπέρθεσή τους;

Δεν ήταν δυνατό να διαπιστωθεί κάποιο γενικό ημερήσιο πρότυπο μεταξύ των νοικοκυριών. Για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις και οι συγκρούσεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτούνται μελλοντικές προβλέψεις για τη διανομή της ενέργειας οικονομικά και επαρκώς. Ως εκ τούτου, η εύρεση ενός κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανάλωσης και κόστους. Θα διερευνηθεί η αποτύπωση μοτίβων χρήσης μέσω μοντέλων ARIMA, κάτι που θα επιτρέψει και την πρόβλεψη χρήσης σε κάποιο βαθμό. Η κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών στην έρευνά μας μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας ένα εποχιακό μοντέλο ARIMA. Οι χρονικές σειρές που συλλέγονται

σε ωριαία, ημερήσια και μηνιαία δεδομένα έχουν εποχιακή συμπεριφορά. Καθώς τα δεδομένα μας σχετίζονται με ωριαίες μετρήσεις ενός μήνα, επιλέγεται το εποχικό μοντέλο ARIMA. Αυτό το μοντέλο έχει την ικανότητα να επιτυγχάνει ευελιξία δεδομένων και να παρέχει αποτελέσματα ακρίβειας. Η μοντελοποίηση της ARIMA μπορεί να ασκηθεί στα ακόλουθα στάδια:

1. Αναγνώριση
2. Εκτίμηση
3. Επικύρωση
4. Πρόβλεψη

Ένα διάγραμμα ροής διατυπώνεται στην Εικόνα 6.17 για εύκολη κατανόηση του μοντέλου.



Εικόνα 6.17: Διάγραμμα ροής ARIMA Modeling

1. Ταυτοποίηση:

Στο στάδιο της αναγνώρισης, πρέπει να δοκιμάσουμε διαφορετικά σετ μοντέλων και να επιλέξουμε ένα μοντέλο που ταιριάζει στα δεδομένα μας. Σε αυτό το στάδιο, υπολογίζονται και παρατηρούνται στατιστικές καλής προσαρμογής (Εικόνα 6.18). Από πλήρεις παρατηρήσεις και υπολογισμούς, μπορεί να γίνει ανάλυση για να επιλεγεί ένα μοντέλο ARIMA που μπορεί να ταιριάζει.

Στη διατριβή μας χρησιμοποιήσαμε το AIC για να προσδιορίσουμε το μοντέλο για την καλή προσαρμογή. Έχουμε δοκιμάσει διαφορετικά μοντέλα ARIMA όπως ARIMA (1, 0,

0) (0, 1, 0), ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1), ARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1), ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) λαμβάνοντας την κατανάλωση και το κόστος συγκεκριμένης ημέρας.

Parameter	ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 0)	ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)	ARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1)	ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0)
AIC	32.565	36.540	34.790	39.897
SBC	33.535	38.480	35.984	42.807
Fitness	Unfit	Unfit	Unfit	Fit

Εικόνα 6.18: Επιλογή του καλύτερου μοντέλου με χρήση του εργαλείου XLSTAT λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές κατανάλωσης (XLSTATTool)

Εξετάζοντας διαφορετικά μοντέλα, επιλέγεται το ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) επειδή τα στατιστικά στοιχεία καλής προσαρμογής είναι τα καλύτερα, το μοντέλο προσαρμόζεται με ακρίβεια στο αρχικό γράφημα, οι τιμές των AIC και SBC είναι μικρές σε σύγκριση με άλλα μοντέλα. Στην Εικόνα 6.18, ακόμη και αν η σειρά του μοντέλου ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) είναι διπλή, οι τιμές είναι πιο κοντά στα υπόλοιπα μοντέλα, γεγονός που υποδεικνύει ότι το μοντέλο έχει μικρότερες τιμές AIC και SBC.

Οι παράμετροι περιγράφονται ως εξής:

Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων πρόβλεψης: Το άθροισμα των τετραγώνων των υπολειμμάτων ονομάζεται άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων. Ο τύπος για SSE περιγράφεται ως εξής:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων

i = 1, 2, 3, ----- n

$\bar{X}$ είναι η προβλεπόμενη τιμή

X_i είναι τα δεδομένα

Μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος: Ένα μέτρο του πόσο μια εξαρτημένη σειρά διαφέρει από το προβλεπόμενο επίπεδο του μοντέλου ονομάζεται μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος [48]. Ο τύπος για το MAPE περιγράφεται ως εξής:

$$MAPE = 1 / n \cdot \sum_{i=1}^n \left((X_i - \bar{X}) / X_i \right)$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων

i = 1, 2, 3, - - - - - n

X_i είναι τα δεδομένα

$\bar{X}$ είναι η προβλεπόμενη τιμή

Τελικό σφάλμα πρόβλεψης: Το τελικό σφάλμα πρόβλεψης παρέχει ένα μέτρο της ποιότητας του μοντέλου. Διαφορετικά μοντέλα μπορούν να συγκριθούν χρησιμοποιώντας αυτό το κριτήριο. Όσο μικρότερο είναι το FPE, τόσο πιο ακριβές θα είναι το μοντέλο [48]. Ο τύπος για το FPE περιγράφεται ως εξής:

$$FPE = (\text{whitenoisevariance}) \cdot ((n+p+q) / (n - p - q)) \quad [50]$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων, p είναι η σειρά του αυτοπαλινδρομικού όρου, q είναι η σειρά του κινητού μέσου όρου **Akaike Information Criterion:** Το Akaike Information Criterion παρέχει το μέτρο της ποιότητας του μοντέλου. Διαφορετικά μοντέλα μπορούν να συγκριθούν χρησιμοποιώντας αυτό το κριτήριο. Όσο μικρότερο είναι το AIC, τόσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο [48]. Ο τύπος για το AIC περιγράφεται ως εξής:

$$AIC = -2 \cdot \log(\text{likelihood}) + 2 \cdot K \quad [52]$$

$$K = p + q + 1$$

όπου K είναι ο αριθμός των παραμέτρων στο μοντέλο

Το p είναι η σειρά της αυτοπαλινδρομικής συνιστώσας

q είναι η σειρά της συνιστώσας του κινούμενου μέσου όρου

Κριτήριο Διορθωμένης Πληροφορίας Akaike: Το AIC που διορθώθηκε για το μέγεθος του δείγματος ονομάζεται Διορθωμένο Κριτήριο Πληροφοριών Akaike [53]. Ο τύπος για το AICC περιγράφεται ως εξής:

$$AICC = AIC + (2 \cdot n(p + q + 1)) / (n - (p + q) - 2) \quad [52]$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων

Το p είναι η σειρά της αυτοπαλινδρομικής συνιστώσας

q είναι η σειρά της συνιστώσας του κινούμενου μέσου όρου

Κριτήριο Schwarz: Είναι ένα κριτήριο επιλογής μοντέλου για την επιλογή ενός μοντέλου ανάμεσα σε διάφορα μοντέλα. Ο τύπος για το SBC περιγράφεται ως εξής:

$$SBC = AIC + 2.909$$

2. Εκτίμηση: Όλες οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν στο παραπάνω στάδιο μπορούν να εκτιμηθούν σε αυτό το στάδιο. Ο στόχος της εκτίμησης είναι να μειωθεί το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων. Όσο μικρότερο είναι το SSE, τόσο καλύτερα ταιριάζει το μοντέλο στα δεδομένα.

3. Επικύρωση: Η επικύρωση είναι μια διαδικασία επιλογής του μοντέλου που ταιριάζει στο αρχικό γράφημα. Εάν το μοντέλο δεν είναι προσαρμοσμένο στο αρχικό γράφημα, τότε το βήμα αναγνώρισης γίνεται ξανά για να επιλέξετε άλλο μοντέλο. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιλεγεί ένα μοντέλο που ταιριάζει καλύτερα. Η επικύρωση μπορεί να γίνει με την εξέταση των υπολοίπων.

Τα υπόλοιπα του μοντέλου εξετάζονται για να ελεγχθεί εάν το μοντέλο ταιριάζει στο αρχικό γράφημα ή όχι. Τα υπόλοιπα δεν είναι παρά η διαφορά μεταξύ των αρχικών και των προβλεπόμενων τιμών. Όσο μικρότερα δείχνουν τα υπόλοιπα στο γράφημα, τόσο πιο κοντά είναι το μοντέλο. Τα υπόλοιπα ποικίλλουν ανάλογα με το αρχικό γράφημα. Εάν το αρχικό γράφημα βρίσκεται κάτω από το μοντέλο ARIMA την ίδια στιγμή, τότε το υπόλοιπο εμφανίζεται προς τα κάτω. Εάν το αρχικό γράφημα βρίσκεται πάνω από το μοντέλο ARIMA την ίδια στιγμή, τότε το υπόλοιπο εμφανίζεται προς τα πάνω. Μια εξίσωση για το υπόλοιπο εμφανίζεται ως εξής:

$$\text{Υπόλοιπο} = y_i - \bar{y}_i$$

όπου y_i είναι η αρχική τιμή

$\bar{y}_i$ είναι η προβλεπόμενη τιμή

Μερικές φορές περισσότερα από ένα μοντέλα φαίνεται να ταιριάζουν στο ίδιο σύνολο δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες περιπτώσεις κατά την απόφαση για το μοντέλο.

- Επιλέξτε το μοντέλο με λίγες παραμέτρους.
- Συγκρίνετε τα μοντέλα λαμβάνοντας υπόψη στατιστικά στοιχεία όπως SSE, AIC, AICC και SBC.

Όσο χαμηλότερες είναι οι τιμές των παραπάνω στατιστικών, τόσο καλύτερο θα είναι το μοντέλο. Η χρήση αυτών των στατιστικών εξηγείται παραπάνω.

- Επιλέξτε το μοντέλο με τα χαμηλότερα τυπικά σφάλματα για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών.

4. Πρόβλεψη:

Τέλος, ένα μοντέλο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών μετά την εκτίμηση και την επικύρωσή του. Οι προηγούμενες τιμές δίνονται ως είσοδος για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών και αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως πρόβλεψη.

Μοντελοποιήσαμε το ARIMA στο «Microsoft Excel» εγκαθιστώντας ένα πρόσθετο XLSTAT. Καθώς προσαρμόζουμε το μοντέλο ARIMA σε μια χρονοσειρά, πρέπει να κάνουμε κλικ στο μενού «Ωρα». Από αυτές τις επιλογές πρέπει να επιλέξουμε — ARIMA». Αφού κάνουμε κλικ στο —ARIMA» θα εμφανιστεί ένα πλαίσιο διαλόγου ARIMA. Στη στήλη «χρονοσειρά», επιλέγουμε τα δεδομένα για τα οποία πρέπει να προσαρμόσουμε το μοντέλο ARIMA. Στη στήλη «Δεδομένα ημερομηνίας», πρέπει κανείς να επιλέξει τις ώρες της ημέρας από 1 έως 24. Το μοντέλο ARIMA που επιλέξαμε είναι το μοντέλο (2, 0, 1) (2, 1, 0), όπου ο αυτοπαλινδρομικός όρος είναι της τάξης 2 και ο όρος κινούμενος μέσος είναι της τάξης 1 σε ένα μη εποχιακό μοντέλο, ενώ ο αυτοπαλινδρομικός όρος είναι της τάξης 2 σε εποχιακό μοντέλο με εποχιακή διαφορά τάξης 1. Διαφορετικές περιπτώσεις ελέγχονται στα δεδομένα για το «κόστος» όπως καθώς και για την «κατανάλωση».

Στη διατριβή μας χρησιμοποιείται εποχικό μοντέλο ARIMA. (p, d, q) λαμβάνεται ως (2, 0, 1), (P, D, Q) λαμβάνεται ως (2, 1, 0) και το S λαμβάνεται ως 12. Κάνοντας κλικ στις «προβλέψεις» στο πλαίσιο διαλόγου «ARIMA», πρέπει να δώσουμε έναν αριθμό προβλέψεων που πρέπει να παρατηρήσουμε στο γράφημα ARIMA. Καθώς υπάρχει ανάγκη να γνωρίζουμε την πρόβλεψη 24 ωρών, έχουμε δώσει 24 ως χρονικά βήματα πρόβλεψης.

Πίνακας 6.1 : Επικύρωση του εργαλείου XLSTAT:

Parameter	XLSTAT tool	Manual calculation
AIC	40.721	40.721
AICC	57.521	57.662
SSE	0.000	0.000
SBC	43.631	43.63

Προκειμένου να επικυρωθεί το εργαλείο XLSTAT, προκύπτουν χειροκίνητοι υπολογισμοί για όλες τις παραμέτρους με βάση τους τύπους. Αυτά τα μη αυτόματα υπολογισμένα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις τιμές που δημιουργούνται από αυτοματοποιημένα εργαλεία. Από τις τιμές του Πίνακα 6.1, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των χειροκίνητων υπολογισμών είναι περίπου ίσα με τις τιμές που δημιουργούνται από το εργαλείο.

Ανάλυση Πρόβλεψης:

Γίνεται πρόβλεψη για 24 ώρες τόσο για την κατανάλωση όσο και για το κόστος. Εκτελούνται 500 επαναλήψεις και 24 παρατηρήσεις στα δεδομένα. Εξετάζονται διαφορετικές περιπτώσεις για την πρόβλεψη του κόστους και της κατανάλωσης. Οι περιπτώσεις είναι οι εξής:

Περίπτωση 1: Κατανάλωση διαφορετικών νοικοκυριών την ίδια μέρα (18 Απριλίου)

Περίπτωση 2: Κατανάλωση του ίδιου νοικοκυριού σε διαφορετικές ημέρες

Περίπτωση 3: Κόστος διαφορετικών νοικοκυριών την ίδια ημέρα (26 Απριλίου)

Περίπτωση 4: Κόστος του ίδιου νοικοκυριού σε διαφορετικές ημέρες

Περίπτωση 5: Μέγιστη θετική συσχέτιση τιμής και κατανάλωσης

Περίπτωση 6: Μέγιστη αρνητική συσχέτιση τιμής και κατανάλωσης

Περίπτωση7:Μέγιστη διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή

Περίπτωση8:Ελάχιστη διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή

Περίπτωση9:Το πραγματικό σωρευτικό κόστος είναι περίπου ίσο με το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή

Η ανάλυση διαφορετικών περιπτώσεων έχει μελετηθεί για να παρατηρηθεί η διαφανής φύση των πελατών. Αυτές οι περιπτώσεις μελέτης μπορούν επίσης να βελτιώσουν το πλαίσιο της πραγματικής ζωής του καταναλωτή από όλα τα δεδομένα του νοικοκυριού που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα. Τα γραφήματα για λίγες περιπτώσεις φαίνονται παρακάτω. Ο χρόνος απεικονίζεται στον άξονα x και η κατανάλωση στον άξονα y για το γράφημα κατανάλωσης ARIMA. Για το γράφημα κόστους ARIMA, ο χρόνος απεικονίζεται στον άξονα x και το κόστος στον άξονα y. Για το γράφημα των υπολοίπων, ο χρόνος απεικονίζεται στον άξονα x και τα υπόλοιπα στον άξονα y για την κατανάλωση καθώς και για το κόστος. Το υπολειπόμενο γράφημα σχηματίζεται με τη συναγωγή της τιμής κατανάλωσης ARIMA από την αρχική κατανάλωση του νοικοκυριού. Οι παρακάτω εξισώσεις προέρχονται για να αντιπροσωπεύουν το μέσο και το συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Είναι οι εξής:

Η κατανάλωση νοικοκυριού ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι $E_i(d, h)$

Κόστος νοικοκυριού ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι $C_i(d, h)$

Το μέσο κόστος κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι $\bar{c}_i(d) = 1/24 \sum_{h=1}^{24} C_i(d, h)$

Συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια της ημέρας $C_i(d) = \sum_{h=1}^{24} C_i(d, h) \cdot E_i(d, h)$

$$\bar{C}_i(d) = \bar{c}_i(d) \cdot \sum_{h=1}^{24} E_i(d, h)$$

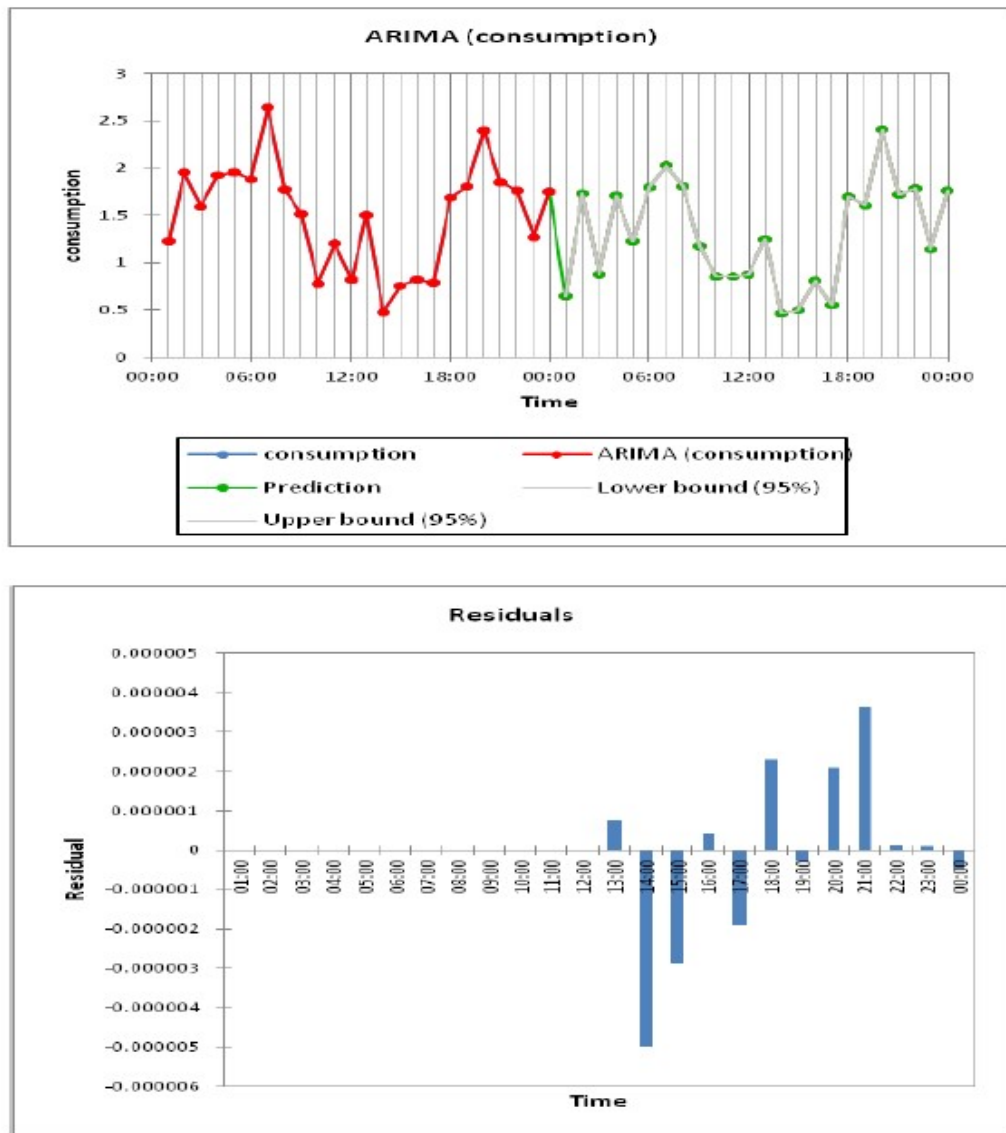
όπου το δ δηλώνει την ημέρα

το I δηλώνει το νοικοκυριό

το h δηλώνει την ώρα

Το αποτέλεσμα της 24ωρης πρόβλεψης που δημιουργήθηκε από το εργαλείο φαίνεται στην Εικόνα 6.19 για να ενεργεί έξυπνα από τον χρήστη. Τα αποτελέσματα

από το μοντέλο ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0)₁₂ για κατανάλωση διαφορετικών νοικοκυριών την ίδια ημέρα (18 Απριλίου) φαίνονται παρακάτω. Η 24ωρη πρόβλεψη βασίζεται σε προηγούμενες τιμές κατανάλωσης 24 ωρών για την κατανάλωση ARIMA και 24 προηγούμενες τιμές κόστους για το κόστος ARIMA.



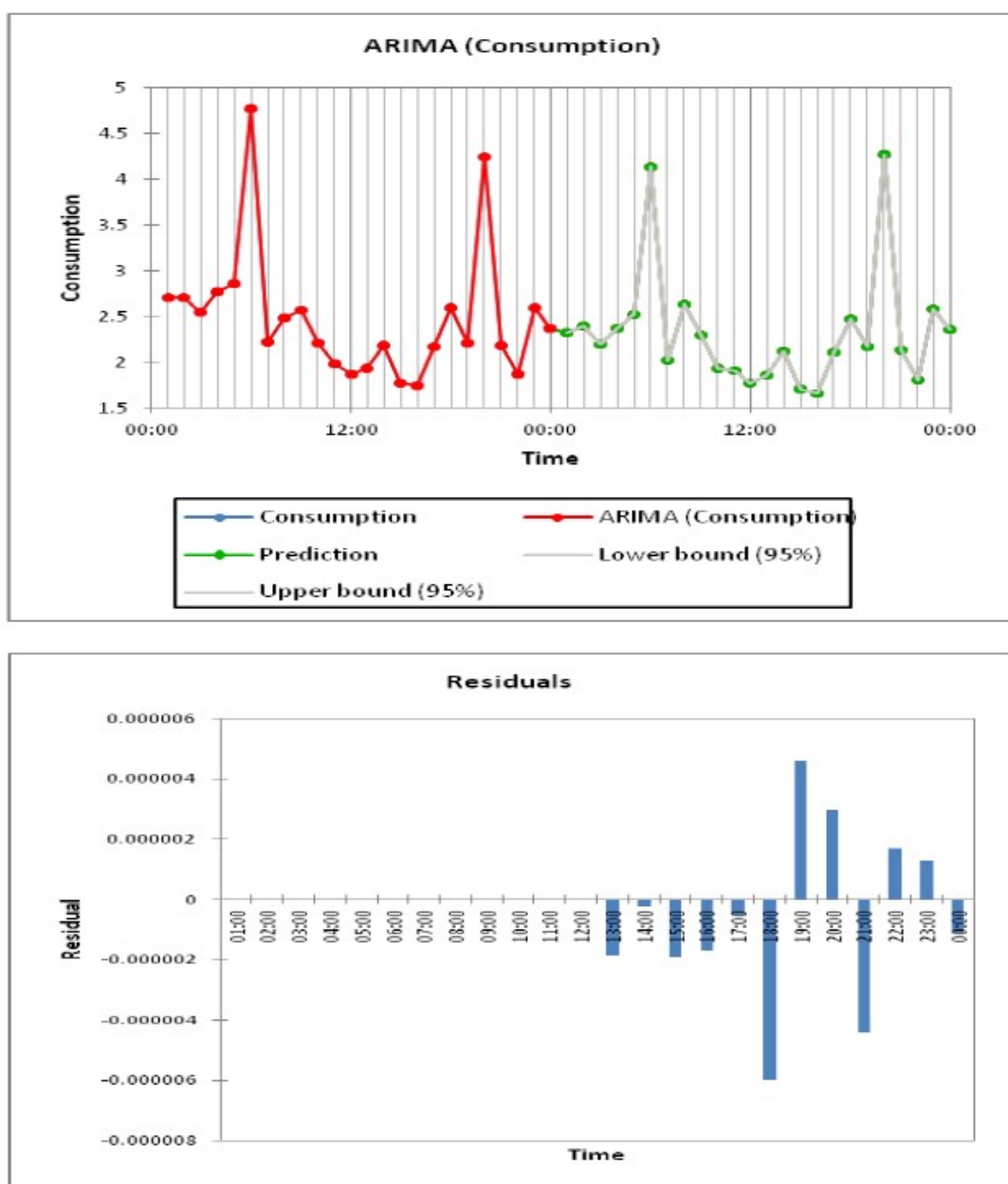
Εικόνα 6.19: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 18 Απριλίου

Πίνακας 6. 2: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 18 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	0.054
AR(2)	0.852
SAR(1)	-0.807

SAR(2)	0.193
MA(1)	0.238

Ο πίνακας που περιέχει τις τιμές παραμέτρων του ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0)₁₂ επιλεγμένων νοικοκυριών που δημιουργούνται ενώ προβλέπονται οι μελλοντικές τιμές εμφανίζονται στους Πίνακες 6.1 – 6.11. Το γράφημα κατανάλωσης είναι μπλε, το ARIMA (κατανάλωση) με κόκκινο και η πρόβλεψη με πράσινο. Η 24ωρη πρόβλεψη της κατανάλωσης γίνεται σε διαφορετικά νοικοκυριά λαμβάνοντας μια κοινή ημέρα, την 18 Απριλίου (Εικόνα 6.20).



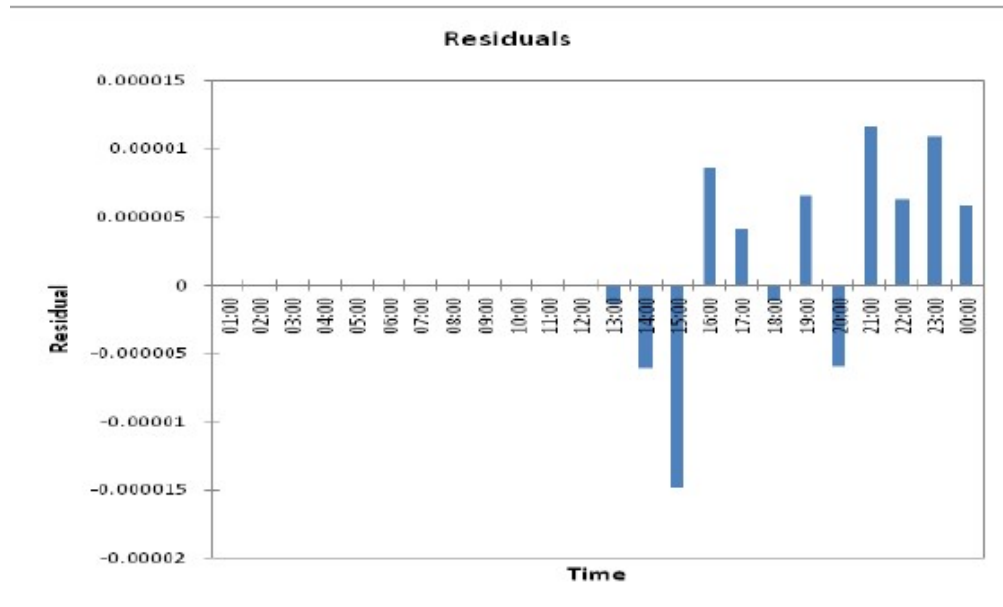
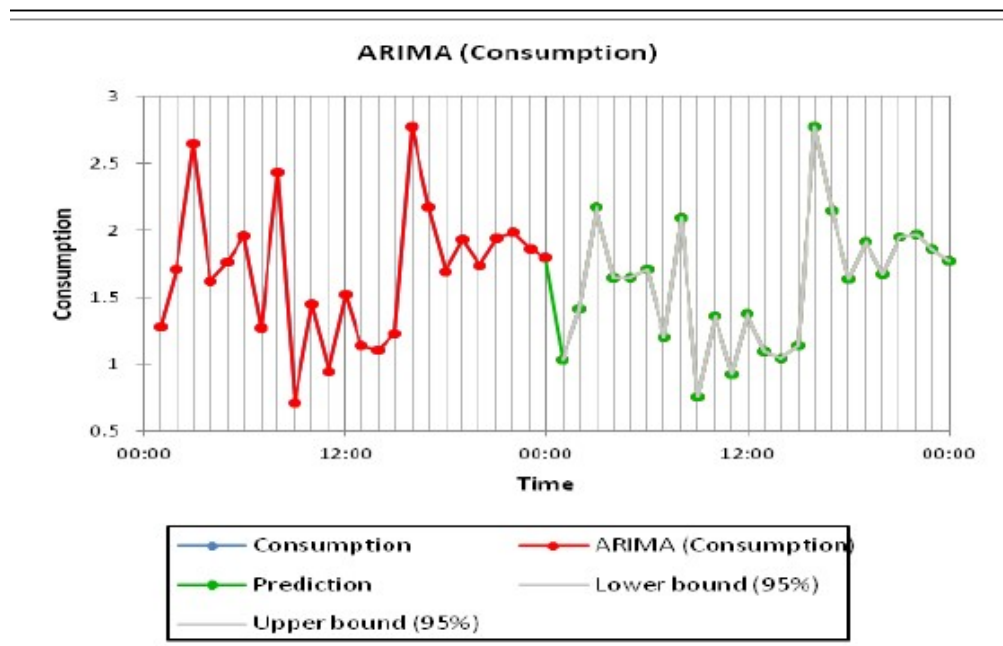
Εικόνα 6.20: Κατανάλωση νοικοκυριού 11 στις 18 Απριλίου

Η 24ωρη πρόβλεψη λαμβάνεται λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενα δεδομένα. Το μοντέλο έχει τοποθετηθεί με ακρίβεια έτσι ώστε τα υπολείμματα να είναι πολύ μικρά. Προφανώς, ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την ληφθείσα πρόβλεψη γνωρίζοντας τις μελλοντικές τιμές (Πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 11 στις 18 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	0.414
AR(2)	-0.121
SAR(1)	-0.800
SAR(2)	0.200
MA(1)	2.828

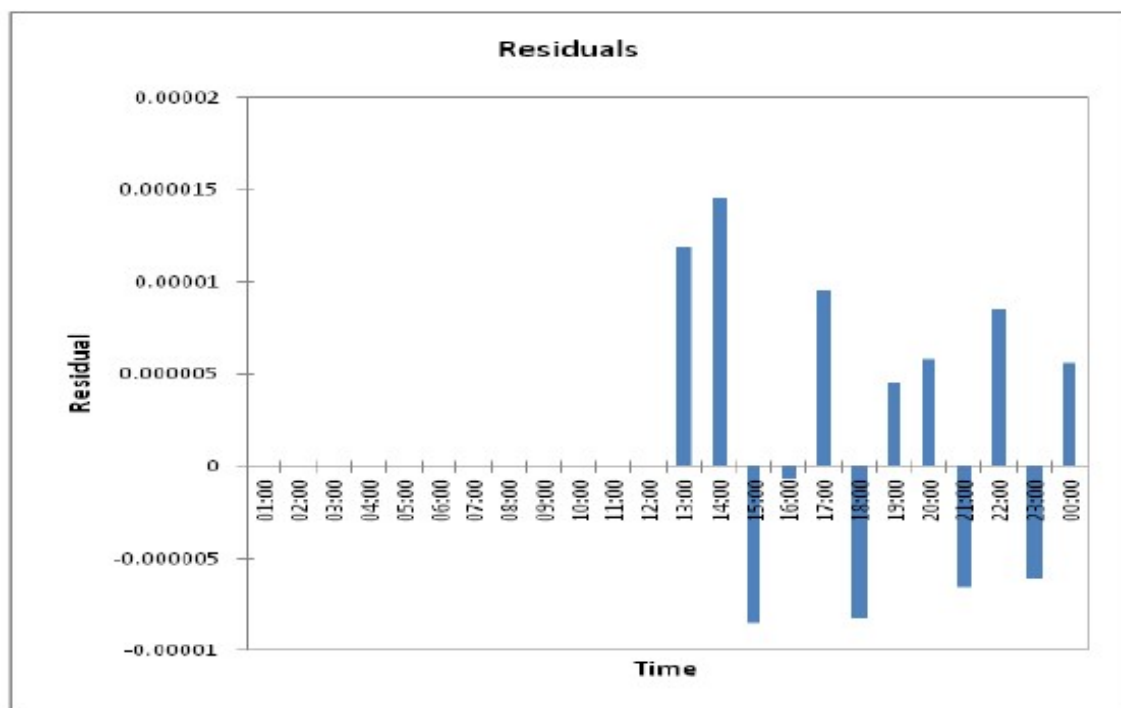
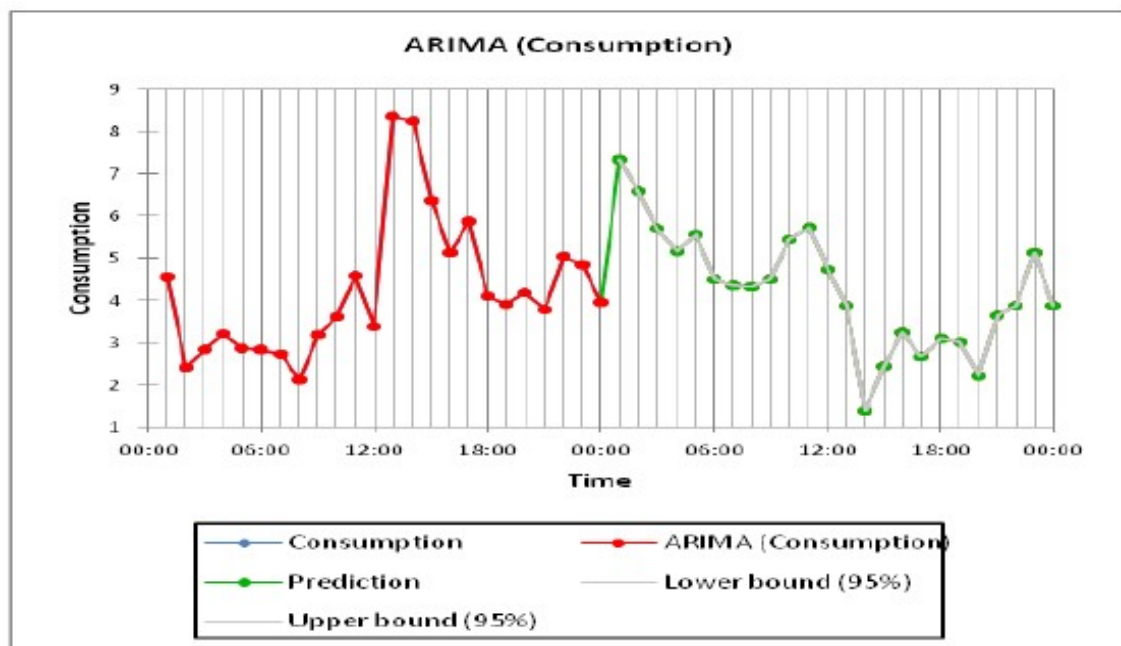
Στις Εικόνες 6.21 και 6.22 εμφανίζονται γραφήματα για 24ωρη πρόβλεψη του μοντέλου ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) για κατανάλωση του ίδιου νοικοκυριού σε διαφορετικές ημέρες.



Εικόνα 6.21: Κατανάλωση νοικοκυριού 4 στις 22 Απριλίου

Πίνακας 6.4: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 4 στις 22 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	0.005
AR(2)	-0.076
SAR(1)	-0.801
SAR(2)	0.199
MA(1)	-0.149

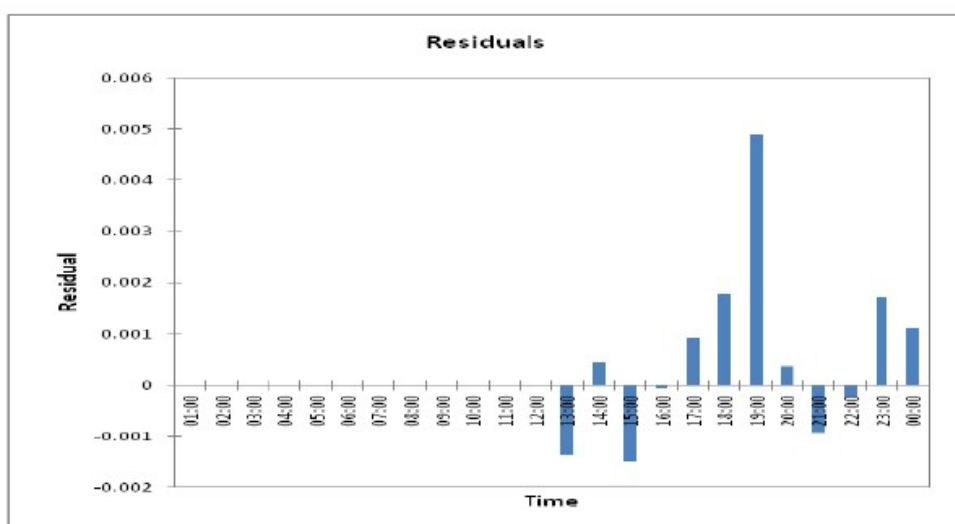
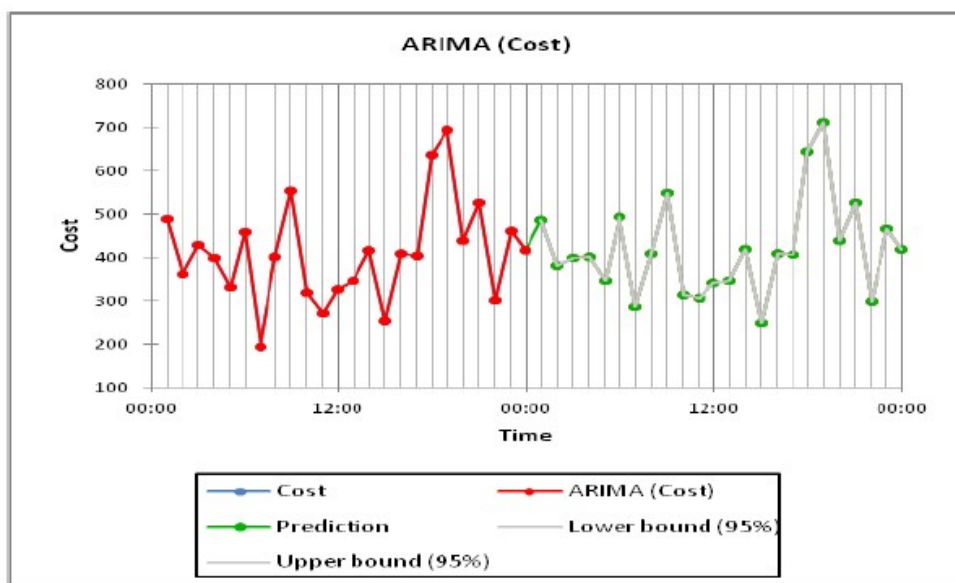


Εικόνα 6.22: Κατανάλωση νοικοκυριού 5 στις 7 Απριλίου

Πίνακας 6.5: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 5 στις 7 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	0.706
AR(2)	0.015
SAR(1)	-0.382
SAR(2)	-1.000
MA(1)	0.350

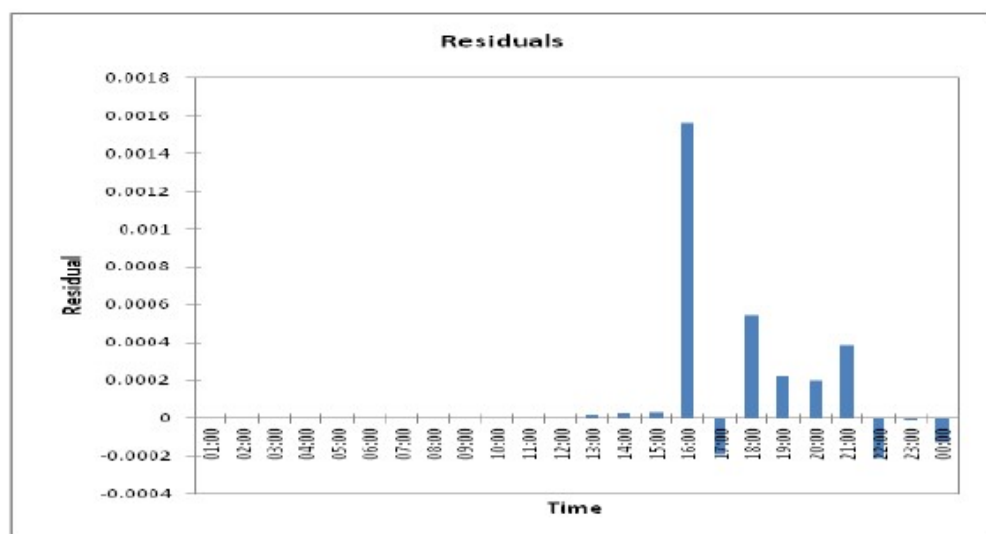
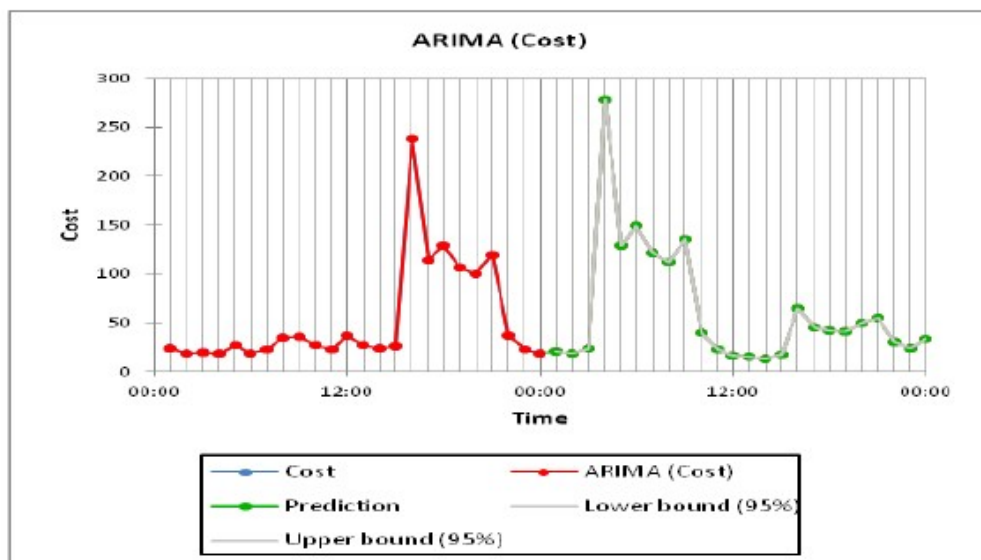
Στις Εικόνες 6.23 και 6.24 εμφανίζονται γραφήματα για 24ωρη πρόβλεψη του μοντέλου ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) για το κόστος διαφορετικών νοικοκυριών την ίδια ημέρα στις 26 Απριλίου.



Εικόνα 6.23: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 26 Απριλίου

Πίνακας 6.6: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 26 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	-0.017
AR(2)	0.137
SAR(1)	-0.813
SAR(2)	0.187
MA(1)	-0.035

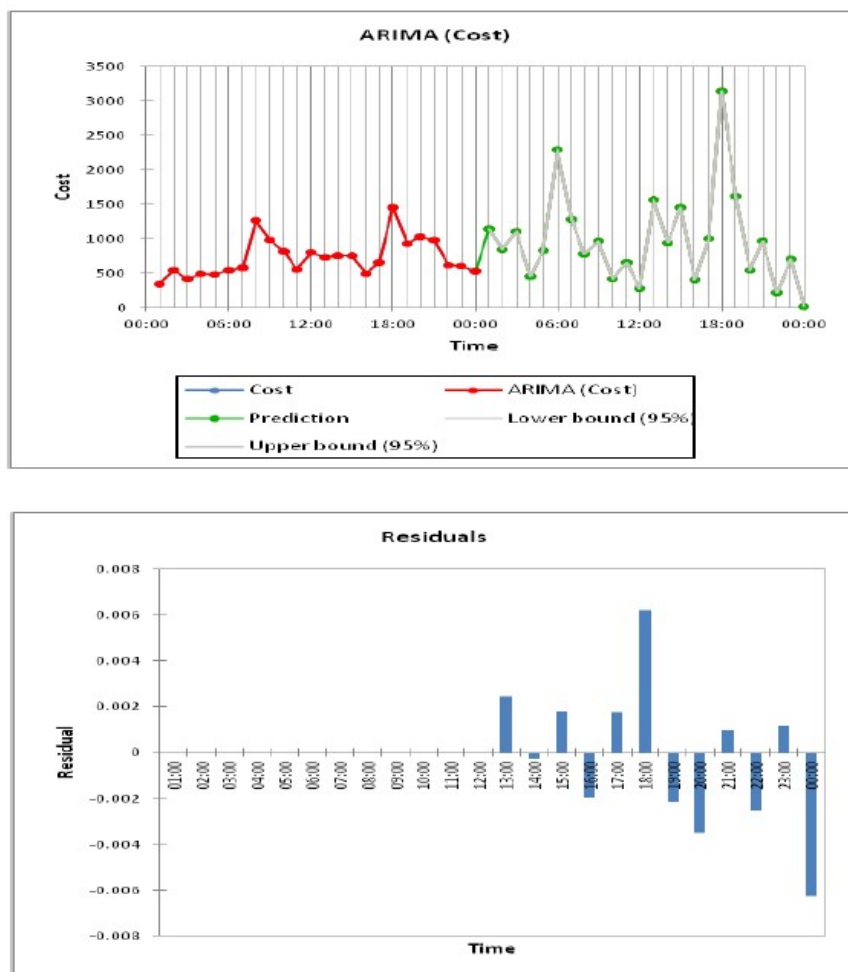


Εικόνα 6.24: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 26 Απριλίου

Πίνακας 6.7: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 10 στις 26 Απριλίου

Parameter	Parameter Value
AR(1)	0.467
AR(2)	0.121
SAR(1)	0.185
SAR(2)	-1.000
MA(1)	-0.195

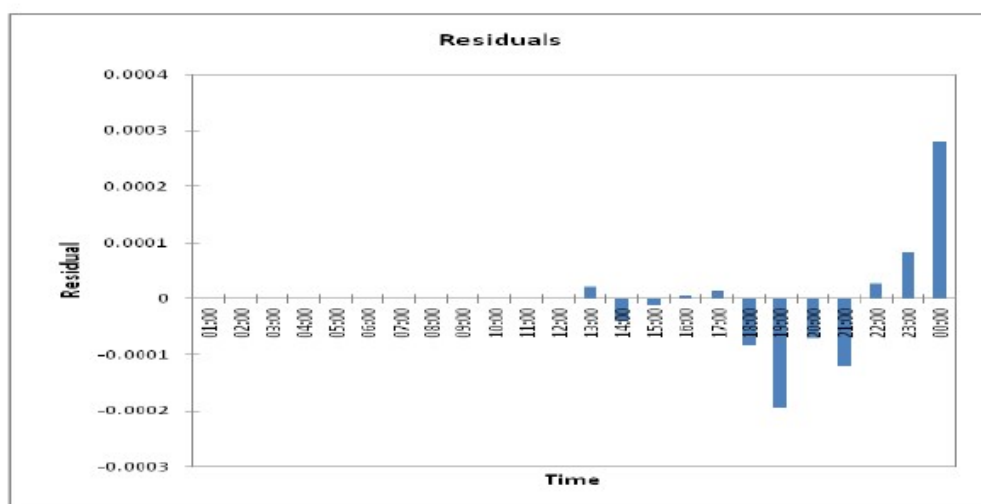
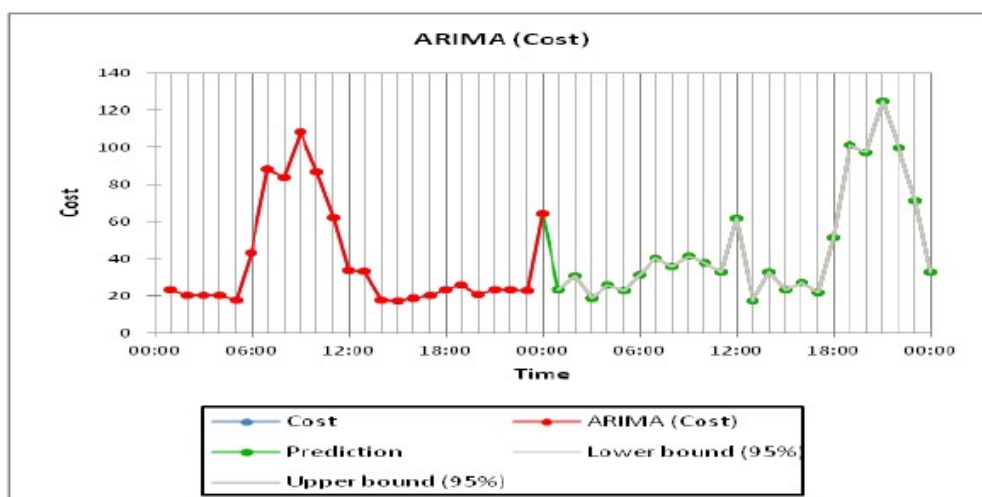
Στις Εικόνες 6.25 και 6.26 εμφανίζονται γραφήματα για 24ωρη πρόβλεψη του μοντέλου ARIMA (2, 0, 1) (2, 1, 0) για το κόστος του ίδιου νοικοκυριού σε διαφορετικές ημέρες.



Εικόνα 6.25: Κατανάλωση νοικοκυριού 1 στις 20 Απριλίου

Πίνακας 6.8: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 1 στις 20 Απριλίου

Parameter	ParameterValue
AR(1)	-0.100
AR(2)	0.424
SAR(1)	0.942
SAR(2)	0.058
MA(1)	0.818



Εικόνα 6.26: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 28 Απριλίου

Πίνακας 6.9: Τιμές παραμέτρων νοικοκυριού 10 στις 28 Απριλίου

Parameter	ParameterValue
AR(1)	0.388
AR(2)	0.501
SAR(1)	-0.176
SAR(2)	-1.000
MA(1)	0.569

όπου το AR(1) είναι αυτοπαλινδρομικός όρος τάξης 1

ο AR(2) είναι αυτοπαλινδρομικός όρος τάξης 2

το SAR(1) είναι εποχικός αυτοπαλινδρομικός όρος τάξης 1

το SAR(2) είναι εποχικός αυτοπαλινδρομικός όρος τάξης 2

το MA(1) είναι ο κινητός μέσος όρος της παραγγελίας 1

Μέγιστη θετική συσχέτιση μεταξύ τιμής και κατανάλωσης:

Επιλέγεται η ημέρα για ένα συγκεκριμένο νοικοκυριό που εμφανίζει μέγιστη θετική συσχέτιση και εκτελείται μοντελοποίηση ARIMA για κατανάλωση και κόστος.

Μέγιστη αρνητική συσχέτιση τιμής και κατανάλωσης:

Επιλέγεται η ημέρα ενός συγκεκριμένου νοικοκυριού που εμφανίζει μέγιστη αρνητική συσχέτιση και εκτελείται μοντελοποίηση ARIMA για κατανάλωση και κόστος.

Μέγιστη διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή:

Επιλέγεται η ημέρα ενός συγκεκριμένου νοικοκυριού που εμφανίζει μέγιστη διαφορά μεταξύ του ωριαίου σωρευτικού κόστους και του σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή και γίνεται η μοντελοποίηση ARIMA για κατανάλωση και κόστος. Η εξίσωση για τη μέγιστη διαφορά περιγράφεται ως εξής:

$$\max_d \{C_i(d) - \bar{C}_i(d)\}$$

Όπου $C_i(d)$ είναι το ωριαίο σωρευτικό κόστος

$\bar{C}_i(d)$ is είναι το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή

Ελάχιστη διαφορά μεταξύ πραγματικού σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή:

Επιλέγεται η ημέρα ενός συγκεκριμένου νοικοκυριού που έχει ελάχιστη διαφορά μεταξύ ωριαίου σωρευτικού κόστους και σωρευτικού κόστους με βάση τη μέση τιμή και γίνεται μοντελοποίηση ARIMA για κατανάλωση και κόστος. Η εξίσωση για την ελάχιστη διαφορά περιγράφεται ως εξής:

$$\min_d \{C_i(d) - \bar{C}_i(d)\}$$

Όπου $C_i(d)$ είναι το ωριαίο σωρευτικό κόστος

$\bar{C}_i(d)$ είναι το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή

Πραγματικό σωρευτικό κόστος περίπου ίσο με το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή:

Επιλέγεται η ημέρα ενός συγκεκριμένου νοικοκυριού με ωριαίο σωρευτικό κόστος και σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή που είναι σχεδόν ίσα και γίνεται μοντελοποίηση ARIMA για κατανάλωση και κόστος. Η εξίσωση περιγράφεται ως εξής:

$$C_i(d) \approx \bar{C}_i(d)$$

Όπου $C_i(d)$ είναι το ωριαίο σωρευτικό κόστος

$\bar{C}_i(d)$ είναι το σωρευτικό κόστος με βάση τη μέση τιμή

Με την παρατήρηση των τιμών πρόβλεψης 24 ωρών, οι χρήστες εφαρμόζουν τις προβλεπόμενες τιμές για μεγαλύτερη μείωση κόστους και κατανάλωσης. Τελικά, αυτό το μοντέλο έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην προοδευτική ανάπτυξη τόσο των χρηστών όσο και των παρόχων υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Πίνακας 6.10: Συσχετισμοί, Μέγιστη συσχέτιση και ελάχιστες τιμές συσχέτισης 12 ημερών για 16 νοικοκυριά)

Household	April 16	April 15	April 14	April 13	April 12	April 11	April 10	April 9	April 8	April 7	April 6	April 5
1	-35%	7%	46%	-36%	-34%	-32%	-12%	21%	63%	62%	16%	-30%
2	-18%	-39%	-24%									
3	22%	-27%	-20%	44%	-14%	-44%	6%	53%	2%	49%	-21%	7%
4	-42%	12%	-2%	25%	13%	-28%	23%	-25%	48%	70%	-16%	1%
5	-50%	-21%	-86%	42%	-27%	-47%	-15%	-16%	12%	27%	36%	-50%
6	-24%	36%	-2%	35%	24%	38%	36%	38%	46%	65%	31%	-17%
7	3%	15%	-4%	-8%	4%	-4%	4%	24%	19%	-6%	-2%	-15%
8	-13%	-10%	0%	3%	13%	-13%	-1%	0%	3%	-3%	9%	-27%
9	49%	-51%	-13%									
10	-26%	-59%	-51%	9%	21%	-11%	28%	39%	19%	43%	32%	-36%
11	-31%	31%	55%	-11%	35%	-19%	-11%	5%	-13%	17%	12%	-7%
12	-29%	-60%	-21%	42%	26%	17%	24%	24%	-20%	-1%	51%	11%
13	-38%	7%	-7%	-2%	-18%	-25%	-26%	-48%	-62%	-23%	5%	-6%
14	17%	-23%	22%	17%	-18%	-47%	28%	15%	25%	4%	10%	53%
15	-55%	16%	-27%									
16	-40%	-16%	-52%									
min	-55%	-60%	-86%	-36%	-34%	-47%	-26%	-48%	-62%	-23%	-21%	-50%
max	49%	36%	55%	44%	35%	38%	36%	53%	63%	70%	51%	53%

Η συσχέτιση στο πράσινο είναι «αρνητική συσχέτιση», η συσχέτιση στο κόκκινο είναι «θετική συσχέτιση» και η συσχέτιση σε κίτρινο χρώμα είναι «αμελητέα συσχέτιση».

Πίνακας 6.11: Συσχετισμοί, Μέγιστη συσχέτιση και ελάχιστες τιμές συσχέτισης 4 ημερών και μέγιστη συσχέτιση, ελάχιστες τιμές συσχέτισης 16 νοικοκυριών

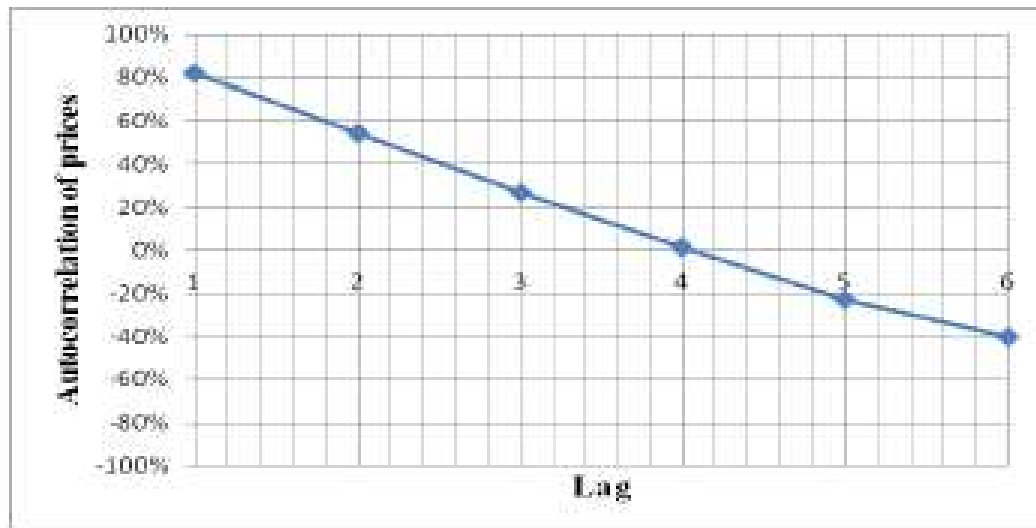
Household	April 4	April 3	April 2	April 1	min	max
1	-16%	-43%	14%	9%	-61%	3%
2					-39%	6%
3	-29%	-51%	30%	-58%	-58%	3%
4	-27%	-49%	-28%	39%	-66%	0%
5	-27%	-33%	-22%	-42%	-86%	2%
6	16%	-20%	-5%	-31%	-31%	2%
7	1%	-19%	9%	24%	-19%	9%
8	24%	-9%	-2%	-2%	-27%	4%
9					-51%	9%
10	-5%	10%	30%	-40%	-59%	3%
11	-37%	-35%	7%	-3%	-58%	5%
12	-4%	25%	45%	-30%	-50%	4%
13	-48%	-75%	-24%	-31%	-75%	0%
14	25%	4%	32%	-11%	-47%	6%
15					-55%	6%
IS					-81%	4%
min	-48%	-75%	-28%	-58%		
max	25%	25%	45%	20		

Η υπολογιζόμενη συσχέτιση κατανάλωσης τιμών χρησιμοποιείται για την υπέρθεση και των 16 δεδομένων νοικοκυριών. Τέλος, από την ανάλυση των δεδομένων, υπάρχει η πιθανότητα ότι οι άνθρωποι μπορούν να σκεφτούν σημαντικά τις μεμονωμένες λειτουργίες και από την υπέρ τοποθεσία των δεδομένων, οι άνθρωποι μπορούν να συμπεριφέρονται πιο έξυπνα από τις παρατηρήσεις. Ορισμένα

νοικοκυριά παρουσιάζουν θετική συσχέτιση σε μια μέρα και αρνητική συσχέτιση την άλλη μέρα. Παρατηρείται ελάχιστη συσχέτιση -86% και μέγιστη συσχέτιση +76% από τα δεδομένα. Καμία συστηματική συμπεριφορά δεν είναι ορατή καθώς τα νοικοκυριά αλλάζουν τη συμπεριφορά από μέρα σε μέρα. Η συνολική μέση διασταύρωση δίνει μια πολύ μικρή τιμή -2%, πράγμα που δείχνει ότι εάν η αλλαγή συμπεριφοράς δεν εφαρμοστεί τότε το συνολικό πλεονέκτημα για ωριαίο ρυθμό θα εξαφανιστεί πρακτικά. Με βάση τα αποτελέσματα, επιβεβαιώνουμε ότι είναι δύσκολο να βρεθεί ένας τυπικός χρήστης και είναι δύσκολο να επιτευχθεί και να προβλεφθεί το οποιοδήποτε μοντέλο χρήσης.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 3) Πώς πρέπει να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στις οικιακές συσκευές για να ισοπεδώσουν τα καθημερινά πρότυπα;

Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και η χρήση της αυξάνεται συνεχώς με ρυθμό. Πρέπει να μελετηθεί η σημασία των μη φυσιολογικών διακυμάνσεων της κατανάλωσης και ακολουθείται τα απαραίτητα βήματα για να προσαρμοστούν οι αλλαγές στα πρότυπα τους. Για την κατανάλωση ενέργειας, η τιμή είναι ένας πρωταρχικός παράγοντας που ακολουθείται για να παρουσιάσει τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, υπάρχει αναγκαιότητα επιλογής της τιμής ως αναφορά για να ισοπεδώσουμε τα πρότυπα κατανάλωσης. Ο μέσος όρος της LAG1 για καθυστέρηση 6 αυτοσυσχέτισης τιμής κατά τη διάρκεια ενός μήνα υπολογίζεται. Μέσω αυτού του υπολογισμού, παρατηρείται θετική συσχέτιση για 4 ώρες, η οποία αργότερα μετατοπίζεται σε αρνητική συσχέτιση. Προφανώς, υπάρχει μια αρκετά μεγάλη αυτοσυσχέτιση W.R.T τιμές. Υπάρχει αναπόφευκτη καθυστέρηση, δηλαδή ο χρήστης πρέπει να περιμένει την επόμενη ώρα για να δει την τιμή και την κατανάλωση. Ενώ η τιμή αυξάνεται, ο χρήστης προσπαθεί να συνεισφέρει το φορτίο. Συγκεκριμένα, οι κορυφές κατανάλωσης που συμβαίνουν με τις κορυφές των τιμών πρέπει να αποφεύγονται. Στην Εικόνα 6.27 σχεδιάζεται με τη λήψη αυτοσυσχέτισης των τιμών στον άξονα y και την καθυστέρηση στον άξονα x για να απεικονίσει τη μετατόπιση των αυτοσυσχέτισης των τιμών.

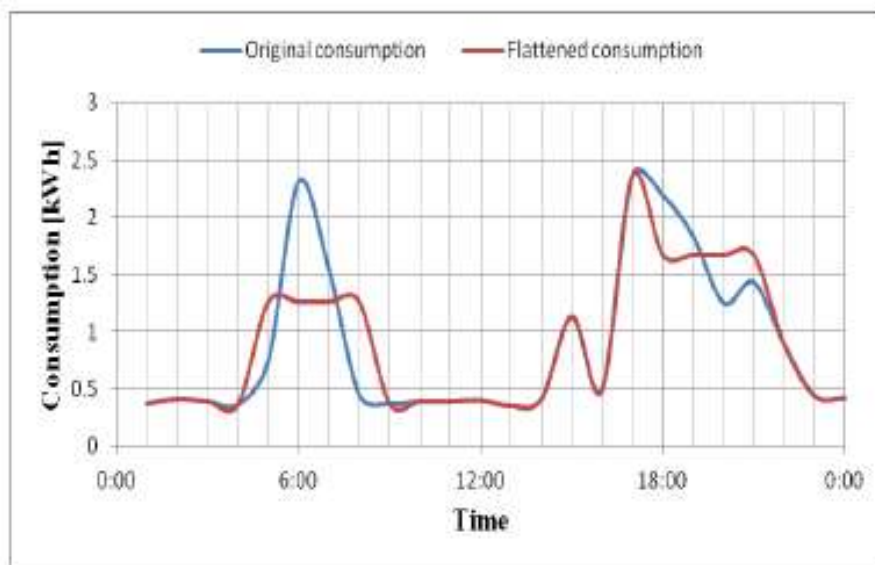


Εικόνα 6.27: Αυτοσυσχέτιση των τιμών

Κατά συνέπεια, με βάση την παραπάνω παρατήρηση, εκτιμάται η διάρκεια του χρόνου κατά την οποία η καμπύλη κατανάλωσης πρέπει να πεπλατυσθεί. Αυτό ενθαρρύνει τους καταναλωτές να αναγνωρίσουν τη σημασία της ωριαίας διάρκειας για την ισοπέδωση της κατανάλωσης σε υψηλές τιμές. Από όλες τις επιλογές και τις παρατηρήσεις, συζητάμε ένα αποτελεσματικό μοντέλο κατανάλωσης στην έρευνά μας. Η διαδικασία για την ισοπέδωση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί ως εξής.

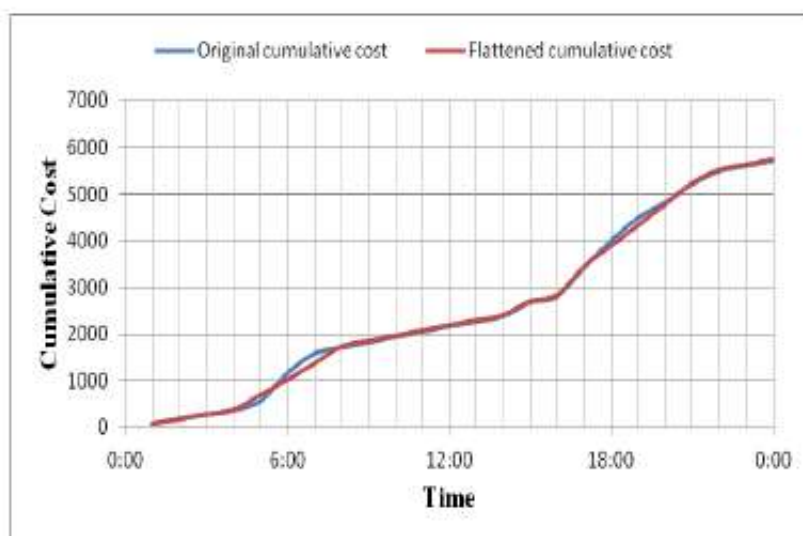
- Επιλέγεται μια περίοδος με αυξανόμενη τιμή για διάρκεια 4 ωρών.
- Ο μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών κατανάλωσης για διάρκεια 4 ωρών αυξανόμενης τιμής λαμβάνεται και οι προηγούμενες τιμές αντικαθίστανται από αυτόν τον μέσο όρο.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται εάν υπάρχει άλλη διάρκεια με αυξανόμενη τιμή κατά 4 ώρες διάρκειας την ίδια ημέρα για το συγκεκριμένο νοικοκυριό.
- Από τον υπολογισμό του μέσου όρου των υψηλών τιμών κατανάλωσης τιμών, μπορεί να εντοπιστεί οποιαδήποτε μείωση του κόστους στην πεπλατυσμένη περίπτωση.

Η γραφική αναπαράσταση διαφορετικών οικιακών μοτίβων παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.28.



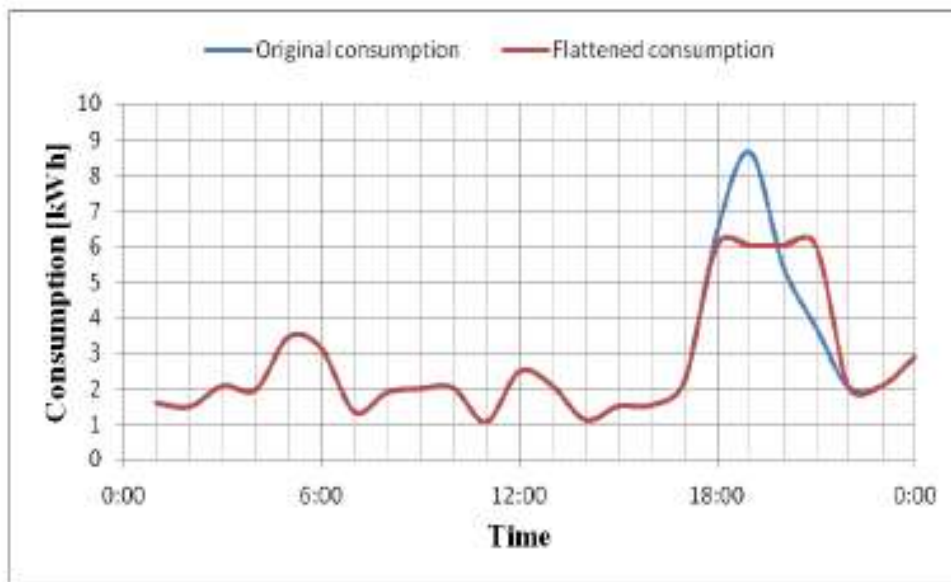
Εικόνα 6.28: Κατανάλωση νοικοκυριού 2 στις 27 Απριλίου

Το γράφημα σε μπλε υποδεικνύει την αρχική κατανάλωση και το γράφημα με κόκκινο χρώμα υποδεικνύει την πεπλατυσμένη κατανάλωση. Από την Εικόνα 6.28 κατανάλωσης του νοικοκυριού 2 στις 27 Απριλίου, η κατανάλωση ποικίλλει σε κορυφές από τις 5:00 έως τις 8:00 ώρα και 18:00 έως 21:00. Έτσι, ο μέσος όρος της αντίστοιχης κατανάλωσης σε διάρκεια 4 ωρών πραγματοποιείται σε δύο περιπτώσεις χρόνου για την επίτευξη επιτεδότητας. Παρόλο που υπάρχει υψηλή κατανάλωση στις 17:00, λόγω της χαμηλής τιμής, ο χρήστης δεν θα επηρεαστεί από την άποψη του κόστους. Προκειμένου να παρατηρηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι δύο σωρευτικές λειτουργίες κόστους διαφέρουν μεταξύ τους, εκτελείται η Εικόνα 6.29.



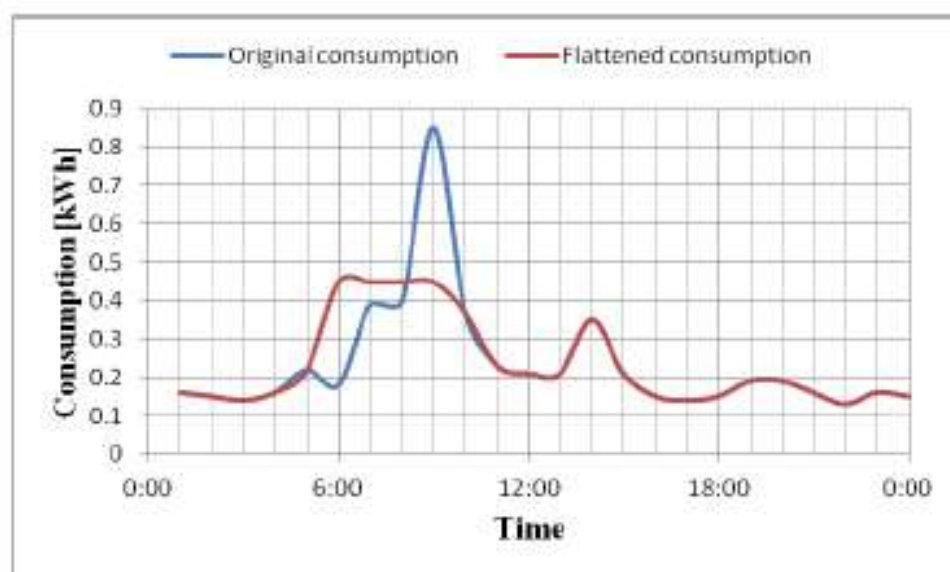
Εικόνα 6.29: Σωρευτικό κόστος του νοικοκυριού 2 στις 27 Απριλίου

Η επίδραση της ισοπαλίας κατανάλωσης παρατηρείται σαφώς στα σωρευτικά γραφήματα κόστους. Το σωρευτικό γράφημα κόστους αυξάνεται γραμμικά στις πεπλατυσμένες ώρες κατανάλωσης και ακολουθεί το αρχικό σωρευτικό γράφημα στις υπόλοιπες ώρες (Εικόνα 6.30).



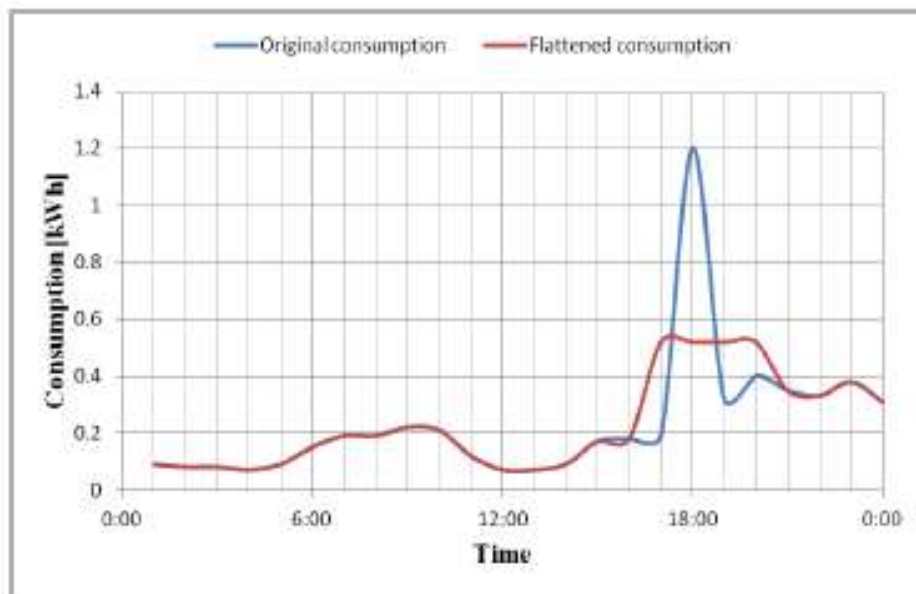
Εικόνα 6.30: Κατανάλωση νοικοκυριού 5 στις 25 Απριλίου

Από την Εικόνα 6.30) του νοικοκυριού 5 στις 25 Απριλίου, η κατανάλωση αυξάνεται από τις 18:00 σε 21:00. Ο μέσος όρος της αντίστοιχης κατανάλωσης από 18:00 έως 21:00 διάρκειας πραγματοποιείται για να επιτευχθεί επιπεδότητα. Από την Εικόνα 6.31 του νοικοκυριού 6 στις 20 Απριλίου, η κατανάλωση αυξάνεται από τις 6:00 έως τις 9:00 ώρες.



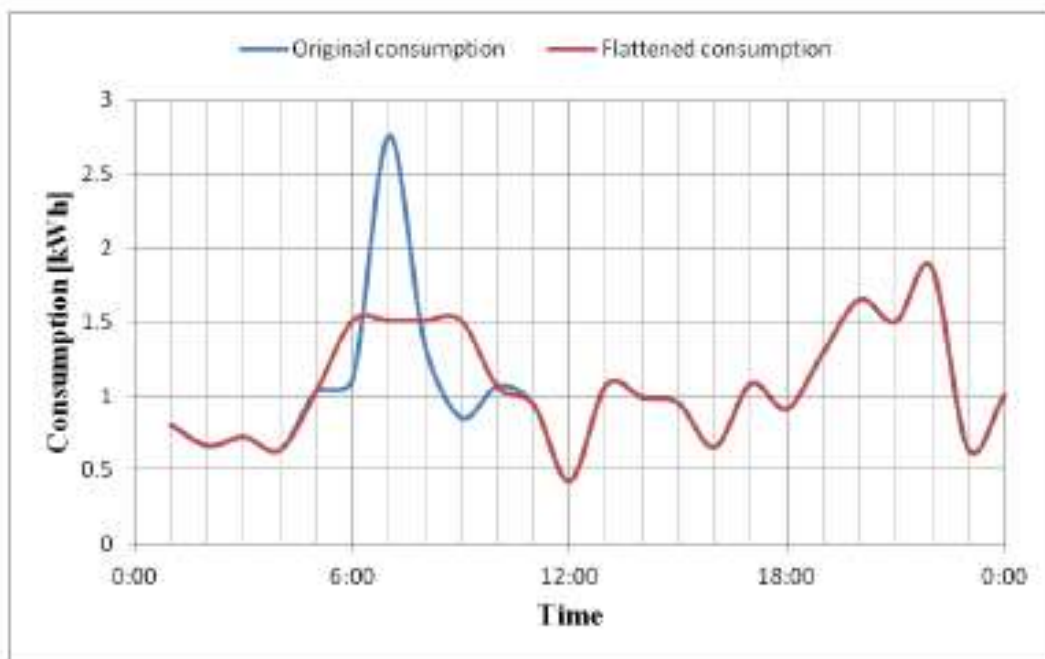
Εικόνα 6.31: Κατανάλωση νοικοκυριού 6 στις 20 Απριλίου

Ο μέσος όρος της αντίστοιχης κατανάλωσης από 6:00 έως 9:00 ώρες πραγματοποιείται για να επιτευχθεί επιπεδότητα. Η σημαντική πτυχή της επιπεδότητας είναι η λιγότερο μέγιστη κατανάλωση είναι καλύτερη και μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο μέγιστη τιμή. Από την εικόνα 6.32 κατανάλωσης του νοικοκυριού 10 στις 14 Απριλίου, η κατανάλωση αυξάνεται από τις 17:00 έως τις 20:00.



Εικόνα 6.32: Κατανάλωση νοικοκυριού 10 στις 14 Απριλίου

Ο μέσος όρος της αντίστοιχης κατανάλωσης από 17:00 έως 20:00 διάρκειας πραγματοποιείται για να επιτευχθεί επιπεδότητα. Από την Εικόνα 6.33 του νοικοκυριού 14 στις 19 Απριλίου, η κατανάλωση αυξάνεται από τις 6:00 έως τις 9:00 ώρες.



Εικόνα 6.33: Κατανάλωση νοικοκυριού 14 στις 19 Απριλίου

Ο μέσος όρος της αντίστοιχης κατανάλωσης από 6:00 έως 9:00 ώρες πραγματοποιείται για να επιτευχθεί επιπεδότητα.

Από τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, διαπιστώθηκε ότι, καθώς οι περισσότεροι από τους χρήστες δεν έχουν ενημερωθεί με τις τιμές, τα γραφικά πρότυπα της κατανάλωσής τους δείχνουν ότι τα περισσότερα από τα νοικοκυριά καταναλώνουν υψηλές κορυφές ενέργειας σε υψηλές τιμές και ποικίλες κατανάλωση σε χαμηλές τιμές. Ως εκ τούτου, το αποτέλεσμα των προσπαθειών ισοπέδωσης για να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο που στοχεύει στην αποτελεσματική κατανομή της ενέργειας. Η τεχνική ισοπέδωσης που εξετάζεται στην έρευνα ανταποκρίνεται στις ανησυχίες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που καθορίζει τους καταναλωτές να εξοικονομήσουν χρήματα. Ένα μόνο γράφημα σύγκρισης για σωρευτικό κόστος σχεδιάζεται για ένα νοικοκυριό και τα υπόλοιπα νοικοκυριά προβάλλονται με τη μορφή του Πίνακα 6.12.

Ο Πίνακας 6.12 δείχνει το σωρευτικό κόστος που υπολογίζεται για πρωτότυπες και πεπλατυσμένες τιμές του νοικοκυριού 5, το νοικοκυριό 6, το νοικοκυριό 10 και το νοικοκυριό 14. Οι αξίες στον πίνακα συγκρίνονται σχετικά με την επίδειξη αποδεικτικών στοιχείων για την επίτευξη των ωριαίων τιμών είναι επωφελείς ή μειονεκτικές για τον καταναλωτή. Από τον συγκεντρωτικό Πίνακα 6.12, οι τιμές που σημειώνονται με κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν σε ώρες μέγιστης τιμής που

λαμβάνονται από το νοικοκυριό. Τέλος, οι βελτιωμένες παραλλαγές βοηθούν τους καταναλωτές να αποκτήσουν γνώση και να τους ενθαρρύνουν να επιτύχουν άμεσες αποταμιεύσεις με οφέλη

Πίνακας 6.12:Ισοπεδωμένο και μη φερτές σωρευτικό κόστος των νοικοκυριών 5, 6, 10 και 14

Household 5 April 25		Household6 April 20		Household 10 April 14		Household 14 April19	
Cum cost	Flatten cum cost	Cum cost	Flatten cum cost	Cum cost	Flatten cum cost	Cum cost	Flatten cum cost
435.04	435.04	43.42	43.42	25.35	25.35	225	225
836.51	836.51	83.87	83.87	47.96	47.96	408.8	408.8
1392.7	1392.7	121.5	121.5	70.49	70.49	605.3	605.3
1923.5	1923.5	164.5	164.5	90.21	90.21	776.4	776.4
2865.3	2865.3	224.8	224.8	115.6	115.6	1065.1	1065.1
3733.6	3733.6	275.5	351.7	158	158	1382.4	1496.8
4167.3	4167.3	390.6	484.5	211.7	211.7	2246.2	1969.4
4941.2	4941.2	538.5	650.8	264.9	264.9	2742.3	2528.4
5832.7	5832.7	887.1	835.3	326.7	326.7	3067.3	3105.6
6686.8	6686.8	1043.6	991.9	386.3	386.3	3459.3	3497.7
7148.2	7148.2	1141	1089.3	420.6	420.6	3805.3	3843.6
8196.9	8196.9	1229.9	1178.3	440.5	440.5	3958.5	3996.9
8965.7	8965.7	1313.9	1262.2	460.3	460.3	4333.9	4372.3
9371.5	9371.5	1447.3	1395.6	485.4	485.4	4663.4	4701.8
9924.2	9924.2	1531.1	1479.5	532.5	532.5	4977.4	5015.8
10485	10485	1586.6	1535	582	582	5180.7	5219.1
11274	11274	1638.5	1586.8	633.5	722.9	5513	5551.4
13700	13574	1694	1642.4	961.8	865.2	5795.6	5834
17212	16031	1764.3	1712.6	1050	1008.5	6193.6	6231.9
19576	18645	1834	1782.3	1160.7	1152.5	6708.4	6746.7
21255	21383	1892.5	1840.9	1258.5	1250.3	7180.2	7218.6
22089	22217	1940.1	1888.4	1350.8	1342.5	7762.2	7800.6
22675	22803	1990.1	1938.4	1457.3	1449	7953.7	7992
23461	23589	2031.9	1980.3	1544.1	1535.8	8231.6	8270

6.7 Συζήτηση

Με όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται από τη στατιστική ανάλυση, υπονοούνται τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Η στενή επιθεώρηση γίνεται από τα δεδομένα που λαμβάνονται και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνει ότι η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τα περισσότερα νοικοκυριά είναι υψηλή κατά την έναρξη, τα μέσα του μήνα και το χαμηλό κατά τη διάρκεια του τερματισμού του μήνα. Παρ' όλα αυτά, αυτό αντικατοπτρίζει έντονα τα πραγματικά χαρακτηριστικά της στάσης των ανθρώπων απέναντι στην ηλεκτρική ενέργεια.
- Τα γραφήματα δημιουργούνται για να δηλώσουν την απόδοση και την ανάλυση 16 νοικοκυριών για κατανάλωση, κόστος τιμών και σωρευτικό κόστος. Τα πρότυπα της γραφικής ανάλυσης υποδεικνύουν ότι οι καταναλωτές θα εξυπηρετήσουν έναν ανταγωνιστικό χαρακτήρα μεταξύ τους. Με τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων συσχέτισης κατανάλωσης τιμών, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πιο αρνητικό είναι ο συσχετισμός, το χαμηλότερο θα είναι το κόστος, ενώ περισσότερο η θετική συσχέτιση θα είναι το κόστος εάν εφαρμοστεί ωριαία τιμολόγηση.
- Παρατηρήθηκαν διάφορα μοντέλα και μια ακριβής επιλογή γίνεται με βάση την καλοσύνη των στατιστικών προσαρμογών. Έχει προταθεί μια ιδέα και μια μεθοδολογία χρήσης εποχιακής ARIMA για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και κόστους. Η αξιοποίηση των πόρων μπορεί να βελτιωθεί αποτελεσματικά με την παρατήρηση των κατανεμημένων στατιστικών. Η ασταθής συμπεριφορά των χρηστών παρατηρείται και συγκρίνεται από την ανάλυση πρόβλεψης. Τα καλύτερα γραφήματα τοποθέτησης εμφανίζονται στην ανάλυση. Τα γραφήματα που δημιουργούνται για αυτή την ανάλυση μπορούν να φέρουν τους ανθρώπους να υιοθετήσουν αλλαγές που ζητούνται στο έγγραφο.
- Οι συσχετίσεις στην υπέρθεση μπορούν να κάνουν τους ανθρώπους να μιμηθούν και να υπερασπιστούν τον έλεγχο των μελλοντικών στατιστικών τους. Καθώς είναι δύσκολο να βρεθεί ένας τυπικός χρήστης, είναι επίσης δύσκολο να προβλέψουμε τη συμπεριφορά ενός τυπικού χρήστη.

- Επομένως, για να μελετηθούν τα πρότυπα των νοικοκυριών προτείνεται μια τεχνική ισοπέδωσης για να εξοικονομήσει το κόστος του καταναλωτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή τη διατριβή, αναλύθηκαν και ερμηνεύτηκαν διαφορετικά σύνολα δεδομένων κατανάλωσης διαφόρων νοικοκυριών και τα καθημερινά πρότυπα συμπεριφοράς τους γράφονται. Προτάθηκε ότι τα υποκείμενα πρότυπα θα πρέπει να μεταβάλλονται σε σχέση με τις τεχνικές πρόβλεψης που συζητούνται σε αυτό το έγγραφο. Τα προτεινόμενα μοντέλα και η μελέτη σε αυτήν την έρευνα μπορούν επίσης να ενθαρρύνουν τους χρήστες να μετατοπίσουν την κατανάλωσή τους και να βελτιστοποιήσουν τον περιορισμό του κόστους. Οι απαντήσεις που λαμβάνονται από τις ερευνητικές ερωτήσεις δίνονται σε αυτό το τμήμα. Είναι τα εξής:

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 1: Ποιες είναι οι μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας των οικιακών εφαρμογών σε περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο;

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στο παρασκήνιο της έρευνας, συμπεραίνεται ότι η αποτελεσματική μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση έξυπνων μετρητών. Σε περίπτωση ανάλυσης, διάφοροι υπολογισμοί δεδομένων όπως η συσχέτιση, η αυτοσυσχέτιση, η τυπική απόκλιση, ο μέσος όρος των τιμών της ημέρας γίνεται σε φύλλα excel. Ο ρόλος της διασταυρούμενης συσχέτισης είναι η ικανότητα να παράγει πιθανή εξοικονόμηση μέσω ωριαίας τιμής σε κάποιο βαθμό. Οι παράγωγες σχέσεις σε μια νέα στατιστική οθόνη μπορούν να δώσουν έμφαση στους αναγνώστες με απλή εξέταση δομής. Αυτό το θεωρητικό συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία (πχ. βλ. [54], [55], [56]).

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 2: Πώς μπορεί να μοντελοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας των μεμονωμένων νοικοκυριών;

Από το μοντέλο ARIMA, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το Arima (2, 0, 1) (2, 1, 0) είναι ιδανικό μοντέλο για την καλή προσαρμογή. Υπολογίζεται σε ένα βαθμό πρόβλεψης μελλοντικών εξελίξεων των τιμών. Για να εκτιμηθεί η παράσταση της επόμενης ημέρας, η πρόβλεψη 24 ωρών είναι χρήσιμη. Το αναπτυγμένο μοντέλο διερευνά ξεχωριστούς τρόπους αναδιάρθρωσης του ανταγωνισμού της αγοράς. Η

αποτελεσματικότητα της χρησιμότητας και του πελάτη που διαδραματίζει ρόλο στην κατανάλωση ισοπέδωσης και επομένως οι τιμές για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να βελτιωθούν με τη χρησιμότητα των καλών μοντέλων πρόβλεψης. Η χρήση των μοντέλων ARIMA και η συνεισφορά τους στην πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών είναι κάτι που έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνάδουν με σχετιζόμενα επιστημονικά άρθρα (πχ. βλ. [57], [58]).

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ 3: Ποια είναι η απαιτούμενη μείωση κατανάλωσης ρεύματος στις οικιακές συσκευές προκειμένου να επιτευχθεί ισοπέδωση της καμπύλης της καθημερινής κατανάλωσης ενός νοικοκυριού;

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία για την επιπέδωση της καμπύλης κατανάλωσης, κάτι που οδηγεί παράλληλα και σε ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Χρησιμοποιήθηκε ως τεχνική ο υπολογισμός του μέσου όρου της LAG1 για καθυστέρηση 6 αυτοσυσχέτισης τιμής κατά τη διάρκεια ενός μήνα προκειμένου να επιτευχθεί η επιπέδωση της καμπύλης. Από την ανάλυση της τεχνικής επιπέδωσης που αναφέρθηκε παραπάνω, συμπεραίνεται ότι οι καταναλωτές μπορούν να ενθαρρυνθούν εισάγοντας ευνοϊκές τροποποιήσεις στα χρονοδιαγράμματα κατανάλωσης. Οι τροποποιήσεις των χρονοδιαγραμμάτων κατανάλωσης (δηλαδή κατανάλωση kWh σε ώρες που δεν έχει τόσο υψηλό κόστος η kWh, όπως πχ το νυχτερινό ρεύμα) με εξομαλυσμένα γραφήματα επιτρέπουν στους ανταγωνιστές να διατυπώσουν στρατηγικές διαπραγμάτευσης και αυτή η τεχνική που αναπτύχθηκε παίζει σημαντικό ρόλο τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους πωλητές. Αυτό το συμπέρασμα ταυτίζεται με αυτό που εξάγεται από πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών (όπως στην περίπτωση μας πχ. στο [53], [59], [49]).

Τέλος, συμπεραίνεται ότι υπάρχει ίσος καταμερισμός ευθύνης για κάθε άνθρωπο αναφορικά με τη διατήρηση και την προστασία των ενεργειακών μας πόρων. Έτσι, τα συλλογικά ερευνητικά αποτελέσματα σε αυτήν την εργασία μπορούν να συμβάλλουν στη διατήρηση των πόρων αυτών.

Μελλοντικές περιπτωσιολογικές μελέτες μπορούν να διεξαχθούν σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο, Γενικευμένο Αυτοπαλινδρομικό Ετεροσκεδαστικό υπό Συνθήκη και Αυτοπαλινδρομικό Κινητό Μέσο όρο με Εξωγενείς Εισόδους για την πρόβλεψη διαφορετικών συνόλων δεδομένων. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων σε

σύγκριση με άλλα μοντέλα είναι ο προσδιορισμός πολύπλοκων μη γραμμικών σχέσεων μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών, η μοντελοποίηση της κατανομής μεταβλητότητας, η ευελιξία και η βελτίωση των μελλοντικών προβλέψεων χρησιμοποιώντας προηγούμενα σφάλματα πρόβλεψης. Επιπλέον, αυτή η εργασία μπορεί επίσης να επεκταθεί με την εξέλιξη πολλών άλλων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνονται από μετρητές αερίου και νερού, πιθανώς με μια περαιτέρω ανεπτυγμένη τεχνική ισοπέδωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Veleva, S., Davcev D. and Kacarska, M. (2011) "Wireless smart platform for Home Energy Management System,"2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies, Manchester, UK, pp. 1-8.
- [2] Roy, A., Das Bhaumik, S. K., Bhattacharya, A., Basu, K., Cook D. J. and Das, S. K. (2003)"Location aware resource management in smart homes,"Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)., Fort Worth, TX, USA, pp. 481-488.
- [3] Mohsenian-Rad, A.-H., Wong, V.W.S., Jatskevich, J., Schober, R. and Leon-Garcia, A. (2010) Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid. IEEE Transactions on Smart Grid, 1, 320-331.
- [4] Ding D, Cooper RA, Pasquina PF, Fici-Pasquina L. (2011) Sensor technology for smart homes. Maturitas. Jun69(2), 131-6.
- [5] Chan M, Estève D, Escriba C, Campo E. (2008) A review of smart homes- present state and future challenges. Comput Methods Programs Biomed. 55-81.
- [6] Stringer, M., Fitzpatrick, G., Harris, E. (2006). Lessons for the Future: Experiences with the Installation and Use of Today's Domestic Sensors and Technologies. In: Fishkin, K.P., Schiele, B., Nixon, P., Quigley, A. (eds) Pervasive Computing. Pervasive.(2006) Lecture Notes in Computer Science, vol 3968. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [7] Li, W., Lee, YH., Tsai, WT. Wei-Tek Tsai, Jingjing Xu, Young-Sung Son, Jun-Hee Park, Kyung-DukMoon.(2012) Service-oriented smart home applications: composition, code generation, deployment, and execution. SOCA6, 65–79.
- [8] Telefonica.(2014)Digital, The smart meter revolution - towards a smarter future.
- [9] Niyato, D. W. P. a. H., (2012) Reliability analysis and redundancy design of smart grid wireless communications system for demand side management, IEEE.
- [10] Moslehi, K. a. K. R.(2010) A reliability perspective of the smart grid. Smart Grid,, IEEE Transactions.

- [11] Yu, F. Z. P. X. W. a. C. P. (2011) Communication systems for grid integration of renewable energy resources, IEEE.
- [12] Schuler, R. (2010) Electricity markets, reliability and the environment: Smartening-up the grid. In System Sciences (HICSS), Hawaii International Conference.
- [13] Dwork, C. (2014) Differential privacy. In Automata, languages and programming, Springer.
- [14] Rouf, I. M. H. X. M. X. W. M. R. a. G. (2012) Neighborhood watch: Security and privacy analysis of automatic meter reading systems, Proceedings of the 2012 ACM Conference o Computer and Communications.
- [15] Lisovich, M. a. W. S.n.(2008) Privacy concerns in upcoming residential and commercial demand-response systems, Clemson University.
- [16] Lisovich, M. M. D. a. W. S. (2008) Inferring personal information from demand-response systems, In 2008 Clemson University Power Systems Conference.
- [17] Ulrich Greveler, B. J. a. L. D. (2012) Multimedia content identification through smart meter power usage profiles, In Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering.
- [18] Yan, Y. Q. Y. S. (2012) A survey on cyber security for smart grid communications, IEEE Communications Surveys.
- [19] Lu, Q., Guo, Q., & Zeng, W. (2022). Optimization scheduling of integrated energy service system in community: A bi-layer optimization model considering multi-energy demand response and user satisfaction, *Energy*, 252.
- [20] Verbong, G. P. J., Beemsterboer, S. F. L., & Sengers, F. (2013). Smart grids or smart users? : involving users in developing a low carbon electricity economy. *Energy Policy*, 52, 117-125.
- [21] Wolsink, Maarten. (2012). The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: Renewable as common pool resources. *Renewable & Sustainable Energy Reviews - RENEW SUSTAIN ENERGY REV.*
- [22] Farhangi, H. (2010) The Path of the Smart Grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8, 18-28.
- [23] Ligtoet, A., van de Kaa, G., Fens, T., van Beers, C., Herder, P., van den Hoven, J. (2015) Value Sensitive Design of Complex Product Systems. In: Janssen, M.,

- Wimmer, M., Deljoo, A. (eds) Policy Practice and Digital Science. Public Administration and Information Technology, vol 10. Springer, Cham.
- [24] Sankar, L. R. S. M. S. a. P. H.(2013) Smart meter privacy: A theoretical framework. Smart Grid, IEEE Transactions.
 - [25] Kaufmann L, Mazzocco MM, Dowker A, von Aster M, Göbel SM, Grabner RH, Henik A, Jordan NC, Karmiloff-Smith AD, Kucian K, Rubinsten O, Szucs D, Shalev R, Nuerk HC(2013) Dyscalculia from a developmental and differential perspective. Front Psychol.
 - [26] Wüstenhagen, Rolf & Wolsink, Maarten & Burer, Mary Jean (2007) Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept. Energy Policy.
 - [27] Taebi, B., Correljé, A., Cuppen, E., Dignum M. & Pesch, U. (2014) Responsible innovation as an endorsement of public values: the need for interdisciplinary research, Journal of Responsible Innovation, 1:1, 118-124.
 - [28] Taebi, B., & Kadak, AC. (2010). Intergenerational considerations affecting the future of nuclear power: equity as a framework for assessing fuel cycles. Risk Analysis: an international journal, 30(9), 1341-1362.
 - [29] Van de Kaa, G. (2014). Responsible Innovation and Standard Selection. In Modern Trends Surrounding Information Technology Standards and Standardization within Organizations (p. 24).
 - [30] Alabdulkarim, L., Molin, E., Lukszol, Z., & Fens, T. (2014). Acceptance of ICT Intensive Socio-Technical Infrastructure Systems: Smart metering Case in the Netherlands. In 2014 IEEE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL ICNSC, pp., 399–404.
 - [31] Schomberg, R. Von. (2011). Towards Responsible Research and Innovation in the Information and Communication Technologies and Security Technologies Fields: A Report from the. Publication Office of the European Union, Luxembourg.
 - [32] Alabdulkarim, L. O. (2013). Acceptance-by-Design: Elicitation of Social Requirements for Intelligent Infrastructures. Delft University of Technology.
 - [33] Gerwen, R. Van, Koenis, F., Schrijner, M., & Widdershoven, G. (2010). Smart meters in the Netherlands: Revised financial analysis and policy advice, 119.

- [34] Sauter, R., & Watson, J. (2007). Strategies for the deployment of microgeneration: Implications for social acceptance. *Energy Policy*, 35(5), 2770– 2779.
- [35] Curtius, H. C., Künzel, K., & Loock, M. (2012). Generic customer segments and business models for smart grids. *Der Markt*, 51(2-3), 63–74.
- [36] Wolsink, M. (2013). Wind Power wind power: Basic Challenge Concerning Social Acceptance wind power social acceptance. In *Renewable energy systems*, pp. 1785–1821). Springer.
- [37] Carlman, I. (1984). The views of politicians and decision-makers on planning for the use of wind power in Sweden. In *European Wind Energy Conference*, pp. 22–36.
- [38] Hoven, J. Van Den, Vermaas, P. E., & Poel, I. Van De. (2015). Design for Values: An Introduction Jeroen. In *Handbook of Ethics, Values, and Technological Design* (pp. 1–7).
- [39] Van de Poel, I. (2009). Values in Engineering Design. *Philosophy of Technology and Engineering Sciences*, 9, 973–1006.
- [40] Dietz, T., Fitzgerald, A., & Shwom, R. (2005). Environmental Values. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 335–372.
- [41] Friedman, B., Kahn Jr., P. H., & Borning, A. (2013). Value Sensitive Design and Information Systems, 5.
- [42] Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201–225.
- [43] Metke, A. R. a. E. R. L. (2010) Security technology for smart grid networks, *IEEE Transactions on Smart Grid* 1(1):99-107.
- [44] Petrlc, R.(2010) A Privacy Preserving Concept for Smart Grids.
- [45] Jawurek, M. J. M. a. K. F. (2011) Plug-in privacy for smart metering billing, Springer.
- [46] Sieniutycz, S., & Jezowski, J. (2018). *Energy Optimization in Process Systems and Fuel Cells*.
- [47] IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, IEA, Paris.
- [48] Venkataraman, H., & Muntean, G.-M. (Eds.). (2012) *Green Mobile Devices and Networks: Energy Optimization and Scavenging Techniques* (1st ed.). CRC Press.

- [49] Abbas M. & Narges D. (2021) Optimization of energy consumption and daylight performance in residential building regarding windows design in hot and dry climate of Isfahan, *Science and Technology for the Built Environment*, 351-366.
- [50] Ploix, Ha, S., Zamai, E. and Jacomino, M. (2006) "Tabu search for the optimization of household energy consumption," *IEEE International Conference on Information Reuse & Integration*, pp. 86-92.
- [51] Ma, M., & Wang, Z. (2019). Prediction of the Energy Consumption Variation Trend in South Africa based on ARIMA, NGM and NGM-ARIMA Models. *Energies*, 13(1), 10.
- [52] Schiavon, S. and Melicov, A. K. (2008) "Energy Saving and Improved Comfort by Increased Air Movement," *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 10, pp. 1954-1960.
- [53] Camus, A. Blavette, F. Dufossé and A. -C. Orgerie (2018) "Self-Consumption Optimization of Renewable Energy Production in Distributed Clouds," *IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)*, pp. 370-380.
- [54] Nepal, B, Yamaha, M, Yokoe, A, Yamaji, T. (2020) Electricity load forecasting using clustering and ARIMA model for energy management in buildings, 62– 76.
- [55] Rahman A., Srikumar V and Smith A.D. (2018) Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks *Applied energy* 372-385.
- [56] Atanas, Mitkov., Najmuddin, Noorzad., Katerina, Gabrovska-Evstatieva., Nicolay, Mihailov. (2019). Forecasting the Energy Consumption in Afghanistan with the ARIMA Model, 1-4.
- [57] Forough, A. B., & Roshandel, R. (2018). Lifetime optimization framework for a hybrid renewable energy system based on receding horizon optimization, *Energy*. 150, 617–630.
- [58] Ikeda, S., & Ooka, R. (2019). Application of differential evolution-based constrained optimization methods to district energy optimization and comparison with dynamic programming. *Applied Energy*, 254.
- [59] Fritsch and Liu-Henke X. (2017) "Optimization of energy consumption by using an intelligent assistance system for an electric vehicle," *Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, pp. 1-9.