



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Αυτοματοποιημένες Συμβουλές Εξοικονόμησης Ενέργειας Οικιακών Καταναλωτών Βασισμένες σε Δεδομένα Έξυπνων Μετρητών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κ. Μάρας

Επίβλεψη : Παύλος Σ. Γεωργιλάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Αυτοματοποιημένες Συμβουλές Εξοικονόμησης Ενέργειας Οικιακών Καταναλωτών Βασισμένες σε Δεδομένα Έξυπνων Μετρητών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κ. Μάρας

Επίβλεψη: Παύλος Σ. Γεωργιλάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24η Οκτωβρίου 2024

.....
Παύλος Γεωργιλάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Άρης Ευάγγελος Δημέας
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Νικολαΐδης
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

.....

Γεώργιος Κ. Μάρας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Μάρας 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας για οικιακούς χρήστες, με τη χρήση πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την ανάλυση δεδομένων από έξυπνους μετρητές και τη συσχέτισή τους με περιβαλλοντικούς και κτιριακούς παράγοντες, ώστε να παραχθούν εξατομικευμένες συμβουλές για την ενημέρωση των καταναλωτών και την χρήση πρακτικών ενεργειακής βελτιστοποίησης. Το κύριο ερευνητικό ερώτημα αφορά τον εντοπισμό στρατηγικών για τη μείωση του κόστους και της ενεργειακής σπατάλης μέσω προληπτικών συμβουλών αλλά και συμβουλών πραγματικού χρόνου που απευθύνονται στους οικιακούς χρήστες.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου από το σύνολο δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν ηλεκτρικά δεδομένα από διάφορες οικιακές συσκευές, δεδομένα περιβαλλοντικών συνθηκών και κτιριακά χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το Plegma Dataset, το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες κατανάλωσης από 13 διαφορετικά σπίτια στην Ελλάδα. Στη συνέχεια, επεξεργάζονται τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και εξάγονται συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας που εστιάζουν στην καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης και στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Η εργασία αξιοποιεί την τεχνολογία των έξυπνων μετρητών για τη συλλογή δεδομένων υψηλής ακρίβειας, καθώς και τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας. Μέσα από αναλύσεις, προτείνονται στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας που βασίζονται στην καθημερινή συμπεριφορά των καταναλωτών και στις εξωτερικές συνθήκες, ενώ αξιολογούνται τα αποτελέσματα αυτών των προσεγγίσεων.

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα για τη συμβολή των έξυπνων μετρητών στη μείωση της ενεργειακής σπατάλης και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις της έρευνας, με έμφαση στη βελτίωση των αλγορίθμων ανάλυσης και την ενσωμάτωση περισσότερων παραμέτρων στην πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Έξυπνοι μετρητές, έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια, συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας/κόστους, ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης, προληπτικές/πραγματικού χρόνου συμβουλές.

ABSTRACT

The purpose of this Diploma Thesis is to extract energy-saving advice for household users by using real energy consumption data. The methodology involves analyzing data from smart meters and correlating it with environmental and building factors to produce personalized recommendations for energy optimization. The main research question focuses on identifying strategies for reducing cost and energy waste through both proactive and real-time advice tailored to household users.

Initially, the input data from the dataset is presented, which includes electrical data from various household appliances, environmental data, and building characteristics. The data used comes from the Plegma Dataset, which includes consumption information from 13 different homes in Greece. Following this, energy consumption data are processed, and energy-saving advice are extracted that focus on better consumption management and improving energy efficiency.

The study utilizes smart meter technology to collect highly accurate data and data analysis techniques to optimize energy consumption. Through the analyses, energy-saving strategies are proposed based on consumer behavior and external conditions, while the results of these approaches are evaluated.

Finally, conclusions are drawn about the contribution of smart meters in reducing energy waste, and future research extensions are proposed, emphasizing the improvement of analysis algorithms and the integration of more parameters into energy consumption forecasting.

KEY WORDS

Smart meters, smart connected homes, energy/cost-saving advice, consumption data analysis, proactive/real-time advice

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2023–2024 υπό την επίβλεψη του κ. Παύλου Γεωργιλάκη, καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Χριστόφορο Μένο-Αικατερινιάδη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη μητέρα μου Ελένη, τον πατέρα μου Κωσταντίνο και τον αδερφό μου Χρήστο, οι οποίοι αποτελούν πηγή δύναμης σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου, αλλά και όλους τους φίλους και συναδέλφους που με στήριξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	13
1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΠΙΤΙΑ.....	17
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	17
2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΠΙΤΙΑ	17
2.2.1 Ορισμός με βάση την προσέγγιση	18
2.2.2 Κύρια υποσυστήματα	19
2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΔΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ	21
2.3.1 Οφέλη	22
2.3.2 Κίνδυνοι.....	22
2.3.3 Λύσεις.....	23
2.4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΕΝΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΕΔΣ	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥΣ

ΧΡΗΣΤΕΣ.....	27
3.1 ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	27
3.2 ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	28
3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	29
3.3.1 Μεθοδολογία.....	29
3.3.2 Επιλεγμένες συμβουλές.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ PLEGMA DATASET	39
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	39
4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	39
4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	43
4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ PYTHON	45
4.4.1 Συλλογή και συγχώνευση δεδομένων.....	45
4.4.2 Χρονική προετοιμασία δεδομένων.....	45
4.4.3 Κανονικοποίηση δεδομένων.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	47
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	47
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	47
5.2.1 Ανάλυση σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα.....	47
5.2.2 Ανάλυση σε μηνιαίο χρονικό ορίζοντα.....	50
5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΧΜΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	53
5.3.1 Ανάλυση σε ημερήσιο χρονικό ορίζοντα.....	54
5.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	56
5.4.1 Συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία	57
5.4.2 Συσχέτιση ημερήσιας αιχμής ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία	60
5.4.3 Συσχέτιση κατανάλωσης κλιματισμού με εξωτερική θερμοκρασία.....	63
5.5 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ	67
5.5.1 Ανάλυση κατανάλωσης/χρήσης συσκευών.....	67
5.5.2 Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας	70
5.6 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	73
5.6.1 Εξοικονόμηση κόστους με μεταφορά αιχμών ζήτησης.....	73
5.6.2 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε χρονικές ζώνες.....	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	79
6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	79
6.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81
---------------------------	-----------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ενέργεια αποτελεί μία από τις πιο θεμελιώδεις έννοιες στη φυσική και είναι αναπόσπαστο κομμάτι κάθε μορφής ανθρώπινης δραστηριότητας. Είναι η ικανότητα ενός συστήματος να εκτελέσει έργο, είτε αυτό αφορά τη μετακίνηση αντικειμένων, την παραγωγή θερμότητας, τον φωτισμό, τη θέρμανση ή την ψύξη. Η ενέργεια εμφανίζεται σε διάφορες μορφές, όπως η κινητική, η θερμική, η ηλεκτρική, η χημική και η πυρηνική, και μπορεί να μετατρέπεται από τη μία μορφή στην άλλη, αλλά δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, σύμφωνα με τον νόμο διατήρησης της ενέργειας.

Η χρήση της ενέργειας διαμορφώνει την ποιότητα ζωής και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών. Στη σύγχρονη εποχή, η ενέργεια είναι απαραίτητη για την εκτέλεση όλων των καθημερινών δραστηριοτήτων, όπως ο φωτισμός, η μετακίνηση και η θέρμανση.

Ωστόσο, η υπερβολική χρήση ενέργειας, κυρίως από μη ανανεώσιμες πηγές, όπως τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας), έχει οδηγήσει σε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των φυσικών πόρων και η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι επιπτώσεις αυτές δημιουργούν την ανάγκη για αναθεώρηση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούμε την ενέργεια και την υιοθέτηση πρακτικών που προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί μία από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Ο όρος αναφέρεται στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας των ενεργειακών συστημάτων και της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών. Η εξοικονόμηση ενέργειας δεν αφορά μόνο τις μεγάλες βιομηχανίες και τις κυβερνήσεις, αλλά και τους απλούς καταναλωτές, οι οποίοι μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης μέσα από καθημερινές ενέργειες [1].

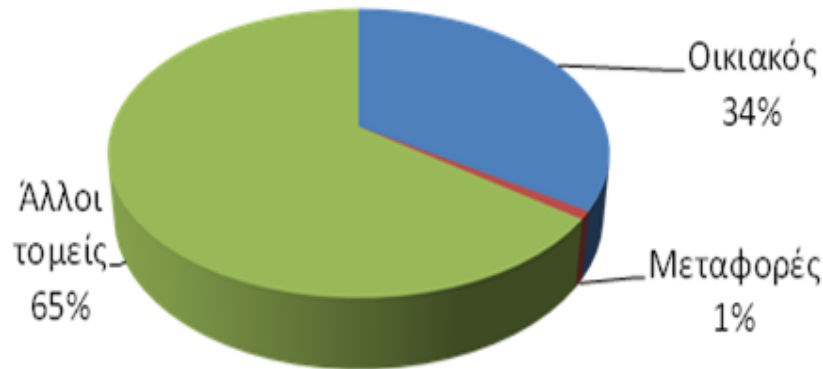
Η παγκόσμια οικονομική κρίση των τελευταίων χρόνων κατέδειξε τις ανάγκες εξοικονόμησης ενέργειας, κυρίως σε οικονομικό επίπεδο, καθώς η αύξηση της τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας και η συρρίκνωση του εισοδήματος πλήττουν τον μέσο άνθρωπο. Παράλληλα όμως, η ίδια οικονομική κρίση που φανέρωσε την αναγκαιότητα υιοθέτησης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, αποτελεί τροχόπεδη στη δυναμικότερη διεύθυνση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, αφού οι επενδύσεις «παγώνουν» και αυξάνεται η δυσπιστία απέναντι στα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας υψηλού κόστους [2].

Η εξοικονόμηση ενέργειας αναφέρεται στην προσπάθεια να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας μέσω συνειδητών αλλαγών στη συμπεριφορά των καταναλωτών και στην υιοθέτηση νέων πρακτικών και τεχνολογιών που προωθούν την αποδοτική χρήση των ενεργειακών πόρων. Η έννοια αυτή είναι άμεσα συνυφασμένη με την ανάγκη μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, καθώς και με την προσπάθεια για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η ενέργεια δεν είναι μόνο ζωτικής σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη, αλλά και για την ανθρώπινη ευημερία, καθώς επηρεάζει δείκτες όπως το προσδόκιμο ζωής, η υγεία και η εκπαίδευση. Ειδικότερα, σε επίπεδο κατοικίας, σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης στον

οικιακό και τριτογενή κτιριακό τομέα αναλογεί στο 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Αυτό καθιστά τα κτίρια κατοικιών και του τριτογενή τομέα (σχολεία, κλινικές, νοσοκομεία, γραφεία, εστιατόρια) τον μεγαλύτερο τελικό καταναλωτή ενέργειας, εκτοπίζοντας τη βιομηχανία και τις μεταφορές από την 1η θέση [2].

Επομένως, το ζήτημα της διαχείρισης ενέργειας δεν αφορά αποκλειστικά μόνο τη βιομηχανία και τις μεταφορές, αλλά ακόμα περισσότερο τις μεμονωμένες κατοικίες και τις μικρές μονάδες παραγωγής. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται το ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρισμού στους κύριους τομείς χρήσης ηλεκτρισμού το 2020.



Σχήμα 1.1: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρισμού το 2020 [3]

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην παροχή ενεργειακών συμβουλών σε οικιακούς καταναλωτές, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης από έξυπνους μετρητές. Στόχος είναι να αξιοποιηθούν τα δεδομένα αυτά για να δημιουργηθούν εξατομικευμένες συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας, βασισμένες σε ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την παροχή άμεσων προτάσεων στους καταναλωτές, με σκοπό να βελτιώσουν τη συμπεριφορά τους όσον αφορά τη χρήση ενέργειας, να μειώσουν την κατανάλωση και να συνεισφέρουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση εντάσσεται στις σύγχρονες προσπάθειες για την εξοικονόμηση ενέργειας, συνδυάζοντας τεχνολογίες αιχμής με πρακτικές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα από τους καταναλωτές, συμβάλλοντας παράλληλα στην παγκόσμια προσπάθεια για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τέλος, η υιοθέτηση τέτοιων πρακτικών βοηθά στην ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με τον ενεργειακό τους αντίκτυπο και στη δημιουργία μιας πιο συνειδητής προσέγγισης στη χρήση της ενέργειας. Σε συλλογικό επίπεδο, τέτοιες πρακτικές συμβάλλουν στην παγκόσμια προσπάθεια για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την προστασία του περιβάλλοντος.

1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια, τα οποία παρουσιάζουν με λεπτομέρεια τα διάφορα στάδια και αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάλυσης δεδομένων από έξυπνους μετρητές:

- ❖ **Κεφάλαιο 2:** Παρουσιάζονται τα έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια και τα κύρια υποσυστήματά τους. Εξετάζεται ο ρόλος τους στην ενεργειακή μετάβαση, τα οφέλη, οι κίνδυνοι, και οι λύσεις που προσφέρουν. Επίσης, γίνεται ανασκόπηση του Ευρωπαϊκού πλαισίου ενσωμάτωσής τους.

- ❖ **Κεφάλαιο 3:** Παρουσιάζονται οι συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας για οικιακούς χρήστες, με έμφαση στη χρήση έξυπνων μετρητών. Περιγράφεται η κατηγοριοποίηση των συμβουλών και η μεθοδολογία εξαγωγής τους.
- ❖ **Κεφάλαιο 4:** Περιγράφεται η επεξεργασία δεδομένων του Plegma dataset, που περιλαμβάνει τη συλλογή, συγχώνευση και χρονική προετοιμασία των δεδομένων. Επίσης, αναλύεται η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόστηκε και η επεξεργασία των δεδομένων με Python.
- ❖ **Κεφάλαιο 5:** Επικεντρώνεται στην εξαγωγή συμβουλών οικιακών καταναλωτών με τη χρήση πραγματικών δεδομένων από το Plegma dataset. Αναλύονται λεπτομερώς τα βήματα της μεθοδολογίας και περιγράφεται η διαδικασία μετατροπής των ευρημάτων σε πρακτικές προτάσεις.
- ❖ **Κεφάλαιο 6:** Γίνεται μια σύνοψη της εργασίας, όπου καταγράφονται τα κύρια συμπεράσματα της ανάλυσης και προτείνονται τρόποι βελτίωσης και επέκτασης της μελλοντικής έρευνας.
- ❖ **Κεφάλαιο 7:** Παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε όλη την έκταση της εργασίας, καλύπτοντας τόσο τις τεχνικές όσο και τις θεωρητικές πτυχές του προβλήματος.

ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΠΙΤΙΑ

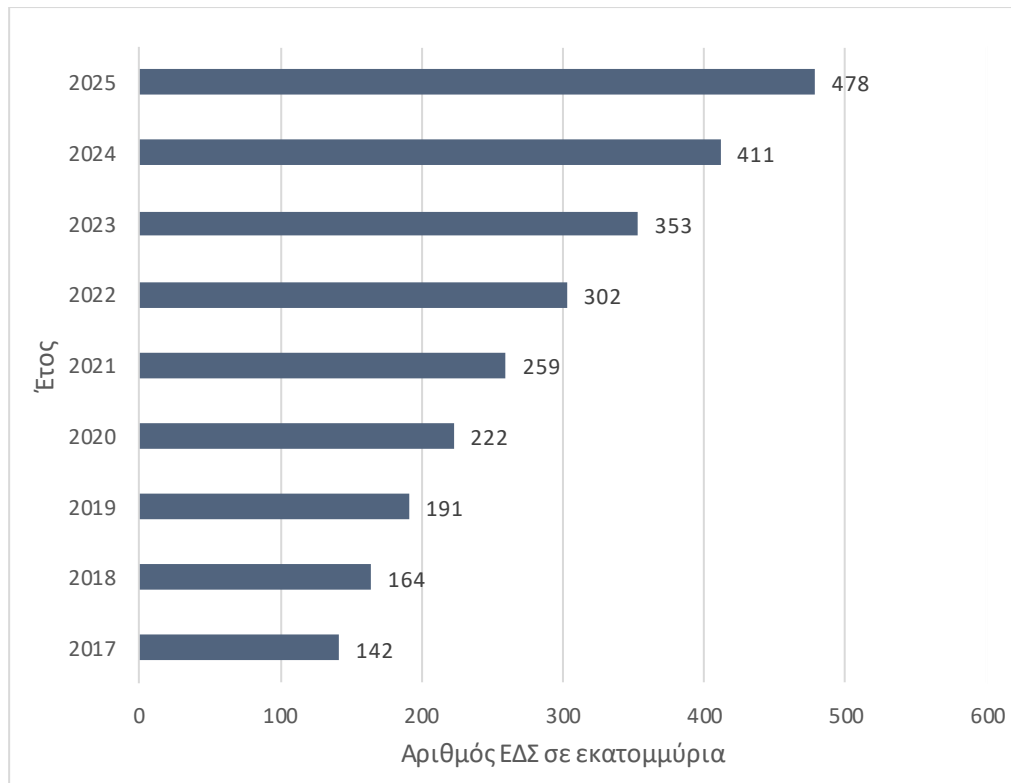
2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σήμερα, η έξυπνη τεχνολογία έχει ήδη αρχίσει να εισέρχεται στα σπίτια, ακόμα και σε πρώιμο στάδιο: από τη βασική χρήση ενός ασύρματου δικτύου για πρόσβαση στο διαδίκτυο, μέχρι τον έλεγχο των ηλεκτρικών συσκευών μέσω απομακρυσμένων χειριστηρίων. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί η συνολική διαχείριση όλων αυτών των συσκευών, όπως θέρμανσης, ψύξης, ασφάλειας, κτλ, από ένα κεντρικό σημείο ελέγχου, όπως το κινητό τηλέφωνο ή το tablet. Η χρήση κινητών συσκευών, όπως το κινητό τηλέφωνο ή το tablet, επιτρέπει στους ιδιοκτήτες να ελέγχουν το σπίτι τους από απόσταση, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την άνεσή τους. Ο ιδιοκτήτης μπορεί να απολαμβάνει την ασφάλεια που παρέχει η δυνατότητα άμεσης πρόσβασης στις πληροφορίες που αφορούν το σπίτι του, και να επιβλέπει ή να διορθώνει μια κατάσταση, την οποία σε διαφορετική περίπτωση δεν θα γνώριζε, μέχρι να βρεθεί στο αντίστοιχο περιβάλλον. Έτσι, τα έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια όχι μόνο απλοποιούν την καθημερινότητά μας, αλλά και αλλάζουν δραστικά τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρούμε με τον οικιακό μας χώρο, καθιστώντας τη ζωή μας πιο ευέλικτη και αποδοτική [4].

2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΠΙΤΙΑ

Τα Έξυπνα Διασυνδεδεμένα Σπίτια (ΕΔΣ) αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα τεχνολογιών που ενσωματώνουν προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα και αισθητήρες με στόχο την αυτοματοποίηση, την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των οικιακών λειτουργιών. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν τη διαχείριση διαφόρων συσκευών και υπηρεσιών, όπως η θέρμανση, η ψύξη και ο φωτισμός μέσω κεντρικών χειριστηρίων, όπως κινητά τηλέφωνα, και αξιοποιούν τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η τεχνητή νοημοσύνη (AI) για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας [4],[5].

Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των Έξυπνων Διασυνδεδεμένων Σπιτιών καταδεικνύει τη μεγάλη δυναμική τους στην παγκόσμια αγορά, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 που παρουσιάζει την προβλεπόμενη αύξηση στον αριθμό των ΕΔΣ από το 2017 έως το 2025. Η συνεχής ανάπτυξη της αγοράς έξυπνων σπιτιών, αναδεικνύει τον σημαντικό τους ρόλο στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 2.1: Αριθμός (σε εκατομμύρια) των ΕΔΣ παγκόσμια από το 2017 έως το 2025 [10]

2.2.1 Ορισμός με βάση την προσέγγιση

Για καλύτερη κατανόηση τα ΕΔΣ μελετούνται μέσα από διαφορετικές προσεγγίσεις, καθεμία από τις οποίες προσφέρει μια διαφορετική οπτική γωνία για τη λειτουργία και τον σκοπό τους. Παρακάτω παρατίθενται τρεις βασικές προσεγγίσεις που βοηθούν στην ερμηνεία των ΕΔΣ [7]:

- **Λειτουργική Προσέγγιση (Functional View)**

Σύμφωνα με τη λειτουργική προσέγγιση, τα ΕΔΣ λειτουργούν ως συστήματα παρακολούθησης που παρέχουν πληροφορίες στους κατοίκους και επιτρέπουν την ενεργή διαχείριση και αυτοματοποίηση των συστημάτων του σπιτιού. Αυτά τα σπίτια ενσωματώνουν διακριτές τεχνολογίες που προσφέρουν πολλές απομακρυσμένες και αυτοματοποιημένες δυνατότητες για τον έλεγχο του οικιακού περιβάλλοντος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής μέσω νέων υπηρεσιών και βελτιωμένης λειτουργικότητας. Βασικός τους στόχος είναι η ενίσχυση του τρόπου ζωής και της οικιακής ζωής, βελτιώνοντας την άνεση, την ψυχαγωγία και την επικοινωνία.

- **Οργανωτική Προσέγγιση (Instrumental View)**

Από την οργανωτική σκοπιά, τα ΕΔΣ λειτουργούν ως ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας του κτιρίου, βελτιστοποιημένο για να επιτρέπει την παροχή πληροφοριών και τις πρμολές στη συμπεριφορά των κατοίκων ανάλογα με τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και τις ενεργειακές ανάγκες. Πρόκειται για ένα εγχώριο σύστημα διαχείρισης ενέργειας που στοχεύει στη μείωση της ζήτησης ενέργειας στο σπίτι και στη βελτιωμένη διαχείριση των συστημάτων από τους παρόχους κοινής ωφέλειας. Κεντρικός στόχος είναι ο έλεγχος της θέρμανσης και των συσκευών που καταναλώνουν ενέργεια, καθώς και η σύνδεση της κατανάλωσης ενέργειας με την καθημερινή εμπειρία των κατοίκων.

- **Κοινωνικο-τεχνική Προσέγγιση (Socio-technical View)**

Από την κοινωνικο-τεχνική σκοπιά, τα έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια αντιμετωπίζονται ως ένα ψηφιακό, τεχνολογικά δικτυωμένο όραμα, που συγκρούεται με τις καθημερινές πραγματικότητες της οικιακής ζωής. Εδώ, τα έξυπνα σπίτια αποτελούν ένα ακόμα σύνολο τεχνολογιών και συσκευών που πρέπει να ενσωματωθούν με τις ήδη υπάρχουσες οικιακές συσκευές. Δεν έχουν κάποιο έμφυτο σκοπό, αλλά οι λειτουργίες τους προκύπτουν καθώς οι τεχνολογίες έξυπνων σπιτιών ενσωματώνονται στη ζωή των κατοίκων, στο πλαίσιο μιας μακροχρόνιας δυναμικής προς τον εκσυγχρονισμό των κατοικιών.

2.2.2 Κύρια υποσυστήματα

1. Συστήματα Αισθητήρων και Ενεργοποιητών

Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον του σπιτιού, όπως θερμοκρασία, υγρασία, φως, και κίνηση. Ένα παράδειγμα είναι οι αισθητήρες κίνησης που ενεργοποιούν τον φωτισμό σε έναν χώρο όταν ανιχνεύσουν την παρουσία κάποιου ατόμου και τον απενεργοποιούν όταν ο χώρος είναι κενός, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας [6].

2. Δίκτυα Επικοινωνίας

Τα δίκτυα επικοινωνίας είναι κρίσιμα για τη διασύνδεση των διαφόρων συσκευών και αισθητήρων ενός ΕΔΣ. Για παράδειγμα, τα δίκτυα Zigbee και Z-Wave χρησιμοποιούνται ευρέως στα έξυπνα σπίτια για την ασύρματη διασύνδεση συσκευών χαμηλής ισχύος. Τα δίκτυα αυτά επιτρέπουν τη σύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών σε ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας, ενώ διασφαλίζουν τη γρήγορη και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων. Για την απομακρυσμένη πρόσβαση, οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν μέσω του Διαδικτύου, επιτρέποντας στους χρήστες να ελέγχουν το σπίτι τους μέσω κινητών εφαρμογών από οπουδήποτε στον κόσμο [4].

3. Συστήματα Ελέγχου και Διαχείρισης

Αυτά τα συστήματα παρέχουν την κεντρική διαχείριση όλων των λειτουργιών του σπιτιού. Μπορούν να περιλαμβάνουν πλατφόρμες όπως το Google Nest ή το Apple HomeKit, οι οποίες ενοποιούν πολλαπλές λειτουργίες σε μια ενιαία διεπαφή. Αυτές οι πλατφόρμες επιτρέπουν την αυτοματοποίηση μέσω προγραμματισμένων εντολών ή ακόμα και μέσω τεχνητής νοημοσύνης, η οποία μαθαίνει από τις συνήθειες των χρηστών και προσαρμόζει τις ρυθμίσεις του σπιτιού για μέγιστη αποδοτικότητα [5].

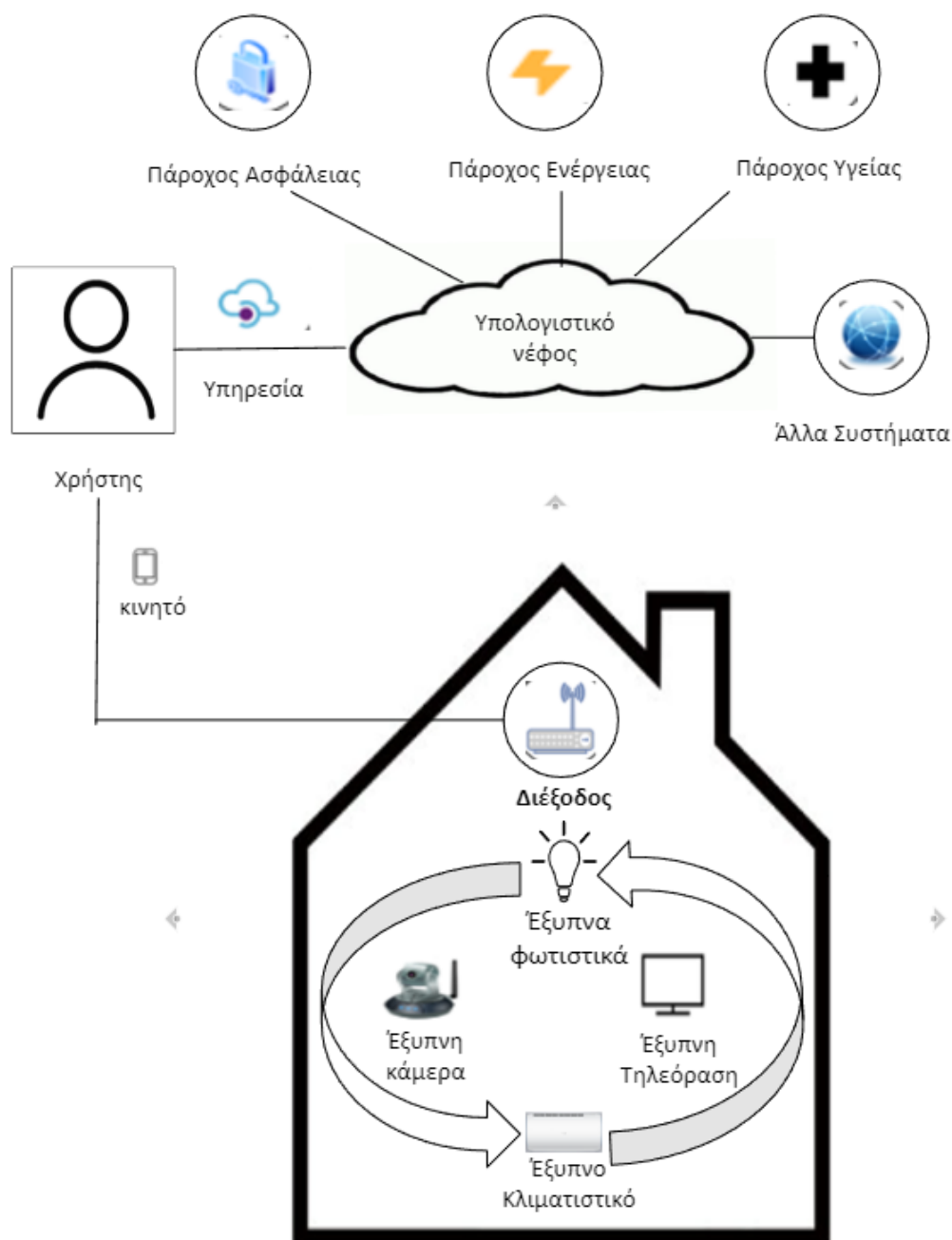
4. Συστήματα Ασφάλειας

Τα συστήματα ασφάλειας των ΕΔΣ περιλαμβάνουν έξυπνες κλειδαριές, κάμερες παρακολούθησης, και ανιχνευτές κίνησης, τα οποία μπορούν να συνδεθούν με συστήματα συναγερμού. Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν την ασφάλεια του σπιτιού τους απομακρυσμένα, λαμβάνοντας ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο σε περίπτωση παραβίασης ή κινδύνου. Για παράδειγμα, οι έξυπνες κλειδαριές μπορούν να επιτρέπουν ή να αρνούνται την πρόσβαση σε συγκεκριμένα άτομα, καθώς και να καταγράφουν ποιος μπήκε ή βγήκε από το σπίτι [4].

5. Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας είναι υπεύθυνα για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στο σπίτι. Αυτά τα συστήματα παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και προσαρμόζουν αυτόματα τη λειτουργία συσκευών για να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας, εξοικονομώντας χρήματα και προστατεύοντας το περιβάλλον. Ένα παράδειγμα είναι η ενσωμάτωση προγραμμάτων διαχείρισης φορτίου, όπου οι συσκευές στο σπίτι, όπως τα πλυντήρια ή οι θερμοσίφωνες, προγραμματίζονται να λειτουργούν κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης ενέργειας, όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή. Αυτό επιτρέπει την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας και μειώνει το κόστος για τον καταναλωτή, καθώς αξιοποιεί τις χαμηλότερες τιμές που προσφέρουν οι πάροχοι ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων [6].

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η τυπική αρχιτεκτονική ενός ΕΔΣ.



Σχήμα 2.2: Μια τυπική αρχιτεκτονική ενός ΕΔΣ

2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΔΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ

Η ενεργειακή μετάβαση προς πιο βιώσιμες μορφές ενέργειας είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα. Στο πλαίσιο αυτό, τα έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια παίζουν καθοριστικό ρόλο, καθώς συνδυάζουν την ψηφιακή τεχνολογία με την ενεργειακή αποδοτικότητα, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν και να ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Με την ανάπτυξη και την εφαρμογή έξυπνων συσκευών, έξυπνων μετρητών και αυτοματοποιημένων συστημάτων, οι κατοικίες γίνονται περισσότερο ευέλικτες και ενεργειακά αποδοτικές, συνεισφέροντας στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης των ενεργειακών αναγκών [7],[8].

Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα ΕΔΣ, όπως τα φωτοβολταϊκά, συμβάλλει στην περαιτέρω μείωση των εκπομπών άνθρακα [8].

2.3.1 Οφέλη

Τα ΕΔΣ παρέχουν πληθώρα οφελών όσον αφορά τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ειδικά μέσω της χρήσης έξυπνων συσκευών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να προσαρμόζουν τη χρήση τους ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες τους, εξοικονομώντας ενέργεια και χρήματα [8],[12]. Επίσης, τα έξυπνα μετρητικά συστήματα δίνουν στους χρήστες τη δυνατότητα να γνωρίζουν σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας και να λαμβάνουν προσαρμοσμένες προτάσεις για την καλύτερη χρήση της ενέργειας, επιτυγχάνοντας μείωση κατά 5–10% στην κατανάλωση [14].

Ταυτόχρονα, τα ΕΔΣ προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια, μέσω της αυτοματοποίησης των συστημάτων θέρμανσης, φωτισμού και ασφάλειας. Για παράδειγμα, η χρήση έξυπνων θερμοστατών που ρυθμίζουν τη θερμοκρασία με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη μπορεί να οδηγήσει σε άμεση εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση ΑΠΕ, συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, καθιστώντας τις κατοικίες περισσότερο αυτόνομες [7],[8].

Ένα γενικότερο όφελος των ΕΔΣ, το οποίο συνήθως δεν αναφέρεται, είναι ότι μπορούν να είναι εξοπλισμένα με συστήματα υπενθύμισης και ειδοποιήσεων που βοηθούν ευπαθείς κοινωνικές ομάδες, όπως οι ηλικιωμένοι, σε καθημερινές δραστηριότητες, όπως η υπενθύμιση λήψης φαρμακευτικής αγωγής [8],[9]. Σύμφωνα με μια μελέτη του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν, η μη τήρηση της φαρμακευτικής αγωγής είναι ένα κοινό πρόβλημα μεταξύ των ηλικιωμένων, με έως και 50% αυτών να μην ακολουθούν τη συνταγογραφημένη φαρμακευτική αγωγή [9]. Επίσης, σύμφωνα με μια έρευνα από το HomeAdvisor, το 60% των ηλικιωμένων βρήκε την οικιακή αυτοματοποίηση πολύ χρήσιμη στη βελτίωση της ποιότητας ζωής τους.

2.3.2 Κίνδυνοι

Παρά την προώθηση των ΕΔΣ, υπάρχουν σημαντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τη χρήση τους, οι οποίοι αφορούν κυρίως την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τις έξυπνες τεχνολογίες και τη διαχείριση των πληροφοριών που προκύπτουν από αυτές.

Ένας από τους κύριους κινδύνους που συνοδεύουν τα ΕΔΣ είναι η υπερπληροφόρηση και η πολυπλοκότητα που μπορεί να προκύψει από την παράλληλη χρήση πολλών εφαρμογών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Οι χρήστες μπορεί να δυσκολεύονται να διαχειριστούν τον όγκο των πληροφοριών [9]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κακή αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ΕΔΣ, εάν δεν υπάρξει η κατάλληλη εκπαίδευση για την αποτελεσματική χρήση τους.

Βέβαια αυτό ενισχύεται και από την έλλειψη της κατανόησης και της χρήσης των ενεργειακών δεδομένων, που αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για την αποτελεσματική χρήση των ΕΔΣ. Εάν οι χρήστες δεν διαθέτουν την απαραίτητη εκπαίδευση, μπορεί να μην εκμεταλλευτούν πλήρως τις δυνατότητες των έξυπνων συστημάτων, κάτι που επισημαίνουν

πολλές μελέτες [7],[11]. Η έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης, ειδικά σε ηλικιωμένους και ευπαθείς ομάδες, μπορεί να περιορίσει τα οφέλη που προσφέρουν τα ΕΔΣ.

Επιπλέον, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης (AI) για την παροχή συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας και τη διαχείριση συσκευών μπορεί να αντιμετωπίζει έλλειψη εμπιστοσύνης από τους χρήστες. Συχνά, οι αλγοριθμικές λύσεις και οι προτάσεις τους μπορεί να φαίνονται ασαφείς ή αδύναμες να εξηγηθούν με σαφήνεια στους χρήστες, γεγονός που δημιουργεί δυσπιστία [9]. Οι καταναλωτές μπορεί να είναι επιφυλακτικοί απέναντι σε συστήματα που λαμβάνουν αποφάσεις αυτόματα για τη διαχείριση των ενεργειακών τους αναγκών, χωρίς πλήρη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λαμβάνονται αυτές οι αποφάσεις.

Ένας ακόμη από τους σημαντικότερους κινδύνους των ΕΔΣ είναι η παραβίαση της ιδιωτικότητας. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις έξυπνες συσκευές μπορούν να αποκαλύψουν λεπτομερείς πληροφορίες για τις καθημερινές συνήθειες των χρηστών, τις ώρες χρήσης των συσκευών και την κατανάλωση ενέργειας, που μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές ανησυχίες για την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων [12],[15]. Η πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα χωρίς τη ρητή συγκατάθεση των χρηστών αποτελεί σημαντικό ρίσκο.

Τέλος, ένας κίνδυνος που συνοδεύει την υιοθέτηση των ΕΔΣ είναι η πιθανότητα απώλειας ελέγχου από τους χρήστες. Καθώς οι οικιακές λειτουργίες αυτοματοποιούνται και οι αποφάσεις βασίζονται σε δεδομένα και αλγορίθμους, οι χρήστες μπορεί να φτάσουν σε σημείο να υπηρετούν το σύστημα αντί να το ελέγχουν. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με την εξάρτηση από την τεχνολογία και την έλλειψη ανθρώπινης εποπτείας, ιδίως όταν δεν υπάρχουν μηχανισμοί ασφαλείας που επιτρέπουν στον χρήστη να παρέμβει ή να ακυρώσει τις αυτόματες ρυθμίσεις [12].

2.3.3 Λύσεις

Για την αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων, υπάρχουν τεχνολογικές λύσεις και πολιτικές που μπορούν να διασφαλίσουν τη σωστή χρήση των ΕΔΣ και να ενισχύσουν την εμπιστοσύνη των χρηστών.

Μια από τις σημαντικότερες λύσεις είναι η ανάπτυξη φιλικών προς τον χρήστη διεπαφών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των ΕΔΣ, οι οποίες θα μειώσουν την πολυπλοκότητα και θα περιορίσουν την υπερπληροφόρηση. Παράλληλα, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν προγράμματα εκπαίδευσης για τη βελτίωση της ενεργειακής γραμματικότητας των χρηστών, ειδικά για ηλικιωμένους και ευπαθείς ομάδες, ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται καλύτερα τα δεδομένα που λαμβάνουν από τα συστήματα [15].

Εκτός αυτού, για να αντιμετωπιστεί η έλλειψη εμπιστοσύνης στις αλγοριθμικές λύσεις, θα πρέπει να υπάρχει μεγαλύτερη διαφάνεια σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας των αλγορίθμων. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της ενίσχυσης των συστημάτων επεξηγηματικής τεχνητής νοημοσύνης (Explainable AI), τα οποία προσφέρουν στους χρήστες σαφείς εξηγήσεις για τις προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας και τις αποφάσεις που λαμβάνονται από τα συστήματα [12].

Αντίστοιχα, η προστασία της ιδιωτικότητας είναι ένας τομέας που απαιτεί αυστηρά κανονιστικά πλαίσια. Η εφαρμογή κανονισμών, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (ΓΚΠΔ), διασφαλίζει ότι οι χρήστες έχουν πλήρη έλεγχο των προσωπικών τους δεδομένων και ότι τα προσωπικά δεδομένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς τη συγκατάθεσή των χρηστών [14]. Παράλληλα, η κρυπτογράφηση

των δεδομένων και η ενίσχυση της ασφάλειας των δικτύων είναι απαραίτητες για την προστασία των πληροφοριών.

Όσον αφορά τον κίνδυνο απώλειας ελέγχου, για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση μηχανισμών ελέγχου που επιτρέπουν στον χρήστη να διατηρεί τον τελικό έλεγχο των λειτουργιών του σπιτιού του. Ειδικότερα, μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα τα οποία θα παρέχουν ειδοποιήσεις ή επιβεβαίωση πριν την υλοποίηση αυτόματων ενεργειών, ενώ παράλληλα θα προσφέρουν την επιλογή χειροκίνητης παρέμβασης. Αυτός ο συνδυασμός ανθρώπινης παρέμβασης και αυτοματοποίησης μπορεί να βελτιώσει την εμπιστοσύνη του χρήστη και να διασφαλίσει ότι οι έξυπνες τεχνολογίες παραμένουν υπό τον έλεγχό του χρήστη και δεν λειτουργούν ανεξέλεγκτα [12].

Με αυτές τις λύσεις, τα ΕΔΣ μπορούν να ενσωματωθούν με ασφάλεια και αποδοτικότητα, επιτυγχάνοντας τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση της καθημερινότητας των χρηστών.

2.4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΕΝΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΕΔΣ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αναγνωρίζει τα έξυπνα διασυνδεδεμένα σπίτια ως έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής στρατηγικής για την ενεργειακή μετάβαση, τα ΕΔΣ ενσωματώνονται ως βασικός πυλώνας για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την επίτευξη των κλιματικών στόχων έως το 2050.

Οι πολιτικές ένταξης εστιάζουν σε τρεις κύριους άξονες [12].

- Ενεργειακή αποδοτικότητα και καθαρή ενέργεια

Η ΕΕ ενσωματώνει τα ΕΔΣ στις πολιτικές βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια, επιτρέποντας την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας και τη μείωση απωλειών μέσω έξυπνων τεχνολογιών, όπως οι έξυπνοι μετρητές.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση παρέχει κίνητρα για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ΕΔΣ. Αυτό όχι μόνο βοηθά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά προσφέρει και οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της πώλησης περίσσειας ενέργειας στα δίκτυα [12],[16].

- Ψηφιοποίηση και διασύνδεση συσκευών

Η ψηφιοποίηση των έξυπνων συστημάτων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της στρατηγικής της ΕΕ. Ένας βασικός στόχος είναι η ενοποίηση των διαφορετικών συσκευών και πλατφορμών, έτσι ώστε όλες οι έξυπνες συσκευές να μπορούν να λειτουργούν αρμονικά και να επικοινωνούν μεταξύ τους, ανεξαρτήτως κατασκευαστή ή πλατφόρμας. Η προώθηση της διαλειτουργικότητας είναι κρίσιμη για τη δημιουργία μιας ενιαίας αγοράς έξυπνων τεχνολογιών στην Ευρώπη, κάτι που θα διευκολύνει την ενσωμάτωση των ΕΔΣ σε καθημερινή χρήση και θα ενισχύσει την καινοτομία στον τομέα [13],[18].

Η χρήση έξυπνων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα 5G, διευκολύνει την αδιάλειπτη σύνδεση των συσκευών και την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [12].

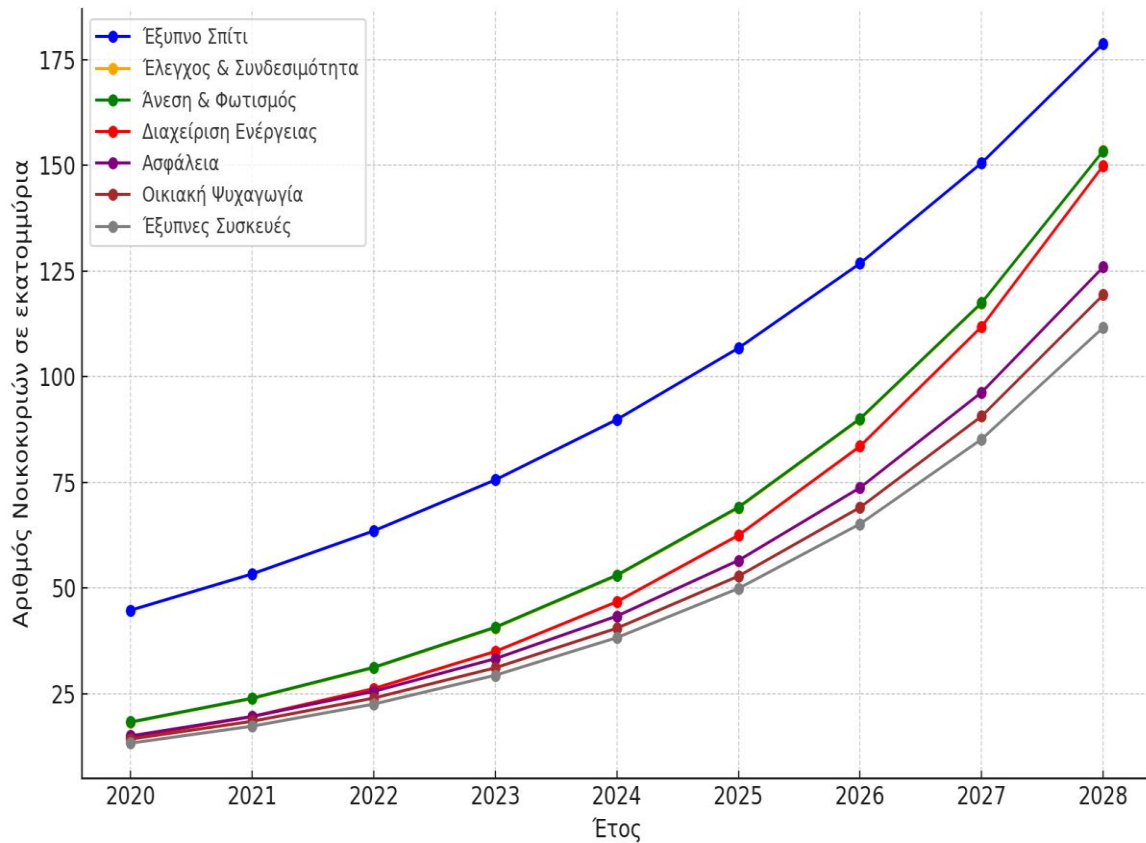
- Προστασία δεδομένων και ασφάλεια

Η ΕΕ δίνει ιδιαίτερη σημασία στην προστασία των δεδομένων που συλλέγονται από τα ΕΔΣ, θέτοντας αυστηρούς κανόνες για τη διαχείριση προσωπικών πληροφοριών. Μάλιστα, έχει θεσπίσει αυστηρούς κανόνες για την προστασία αυτών των δεδομένων, με τον ΓΚΠΔ να διασφαλίζει ότι οι χρήστες έχουν τον πλήρη έλεγχο των δεδομένων τους και ότι τα δεδομένα αυτά δεν χρησιμοποιούνται χωρίς τη συγκατάθεσή τους [12],[13].

Κάποια παραδείγματα εφαρμογής των παραπάνω πολιτικών ένταξης των ΕΔΣ σε Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι τα εξής:

- **Γερμανία:** Στη Γερμανία, η υιοθέτηση των ΕΔΣ βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα. Οι έξυπνοι μετρητές ενέργειας έχουν υιοθετηθεί ευρέως, επιτρέποντας στους πολίτες να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόζουν τη χρήση τους ανάλογα. Η κυβέρνηση υποστηρίζει ενεργά την ανάπτυξη της έξυπνης τεχνολογίας, ενώ παράλληλα ενσωματώνει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα ΕΔΣ.
- **Δανία:** Η Δανία έχει επικεντρωθεί στη χρήση έξυπνων τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων και τη μείωση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έχουν δημιουργηθεί μεγάλης κλίμακας έργα που εστιάζουν στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα έξυπνα σπίτια, με την παράλληλη χρήση προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας. Το πρόγραμμα Smart Grid Denmark χρησιμεύει ως ένα από τα βασικά παραδείγματα όπου τα ΕΔΣ διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας και την αλληλεπίδραση με έξυπνα δίκτυα.
- **Σουηδία:** Στη Σουηδία, η ενσωμάτωση των ΕΔΣ εντάσσεται στο πλαίσιο μιας στρατηγικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη, με τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών που βελτιώνουν τη διαχείριση της ενέργειας. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν αυτόματες ρυθμίσεις για την ψύξη και θέρμανση των σπιτιών, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα σπίτια έχει ενισχύσει τη βιωσιμότητα των οικιστικών περιοχών.
- **Ιταλία:** Στην Ιταλία, η πολιτική ένταξη των ΕΔΣ ενσωματώνει στρατηγικές για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε συνδυασμό με την κοινωνική ευαισθητοποίηση για την ανάγκη μείωσης των εκπομπών άνθρακα. Η ιταλική κυβέρνηση έχει προχωρήσει σε νομοθετικές πρωτοβουλίες που ευνοούν τη χρήση έξυπνων μετρητών σε οικιακό επίπεδο, παρέχοντας κίνητρα στους καταναλωτές μέσω φορολογικών ελαφρύνσεων και επιδοτήσεων για την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, η Ιταλία είναι μια από τις χώρες που συμμετέχουν ενεργά σε ευρωπαϊκά προγράμματα για την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων (smart grids), τα οποία συνδέονται άμεσα με τα έξυπνα σπίτια. Αυτά τα προγράμματα επιτρέπουν στους καταναλωτές να συνεισφέρουν ενεργά στην ενεργειακή αγορά, πωλώντας περίσσεια ενέργειας πίσω στο δίκτυο ή ρυθμίζοντας την κατανάλωσή τους βάσει δυναμικών τιμολογίων ενέργειας.

Η μεγάλη ανάπτυξη των ΕΔΣ στις Ευρωπαϊκές φαίνεται στο Σχήμα 2.3, το οποίο δίνει μια πρόβλεψη για την αύξηση των έξυπνων σπιτιών ανά κατηγορία έξυπνων οικιακών συστημάτων.



Σχήμα 2.3: Πρόβλεψη για τον αριθμό των έξυπνων κατοικιών (σε εκατομμύρια) ανά κατηγορία στην Ευρώπη από το 2020 έως το 2028 [19]

Συμπερασματικά, η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω των πολιτικών ένταξης των ΕΔΣ, προωθεί την ψηφιοποίηση και την ενεργειακή αποδοτικότητα σε όλη την Ευρώπη, ενσωματώνοντας παράλληλα αυστηρά μέτρα προστασίας δεδομένων. Οι πρωτοβουλίες αυτές στοχεύουν στη δημιουργία πιο βιώσιμων κτιρίων, ενώ παράλληλα ενισχύουν την ασφάλεια και την ευελιξία των καταναλωτών, καθιστώντας τα ΕΔΣ βασικό στοιχείο της στρατηγικής για την κλιματική ουδετερότητα.

ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ

3.1 ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

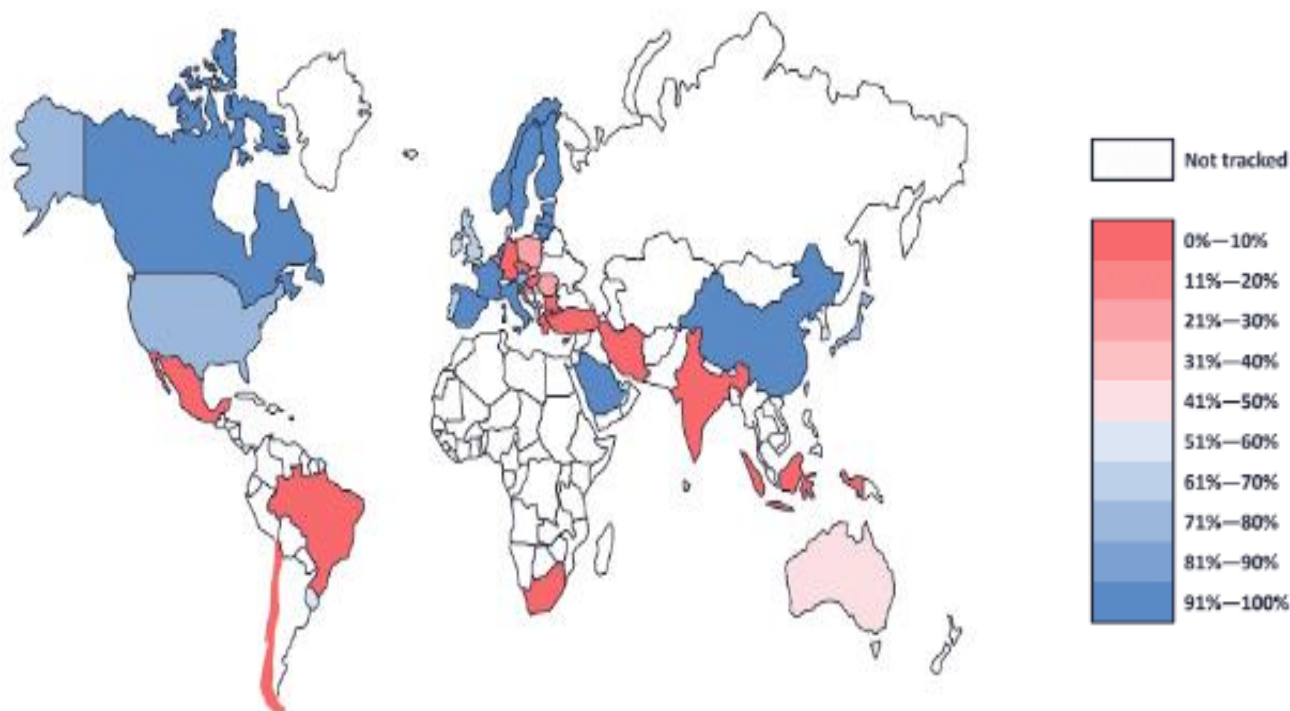
Ένα σημαντικό ποσοστό της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποδίδεται στα νοικοκυριά, γεγονός που καθιστά τα νοικοκυριά έναν κρίσιμο στόχο για πολιτικές που στοχεύουν στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα νοικοκυριά είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη σημαντικών ενεργειακών εξοικονομήσεων. Επίσης, η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση γύρω από τα περιβαλλοντικά ζητήματα οδηγεί στην υιοθέτηση νέων ενεργειακών λύσεων, όπως οι έξυπνοι μετρητές. Οι έξυπνοι μετρητές είναι συσκευές που επιτρέπουν την καταγραφή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας στους χρήστες άμεση πληροφόρηση για το πώς χρησιμοποιούν την ενέργεια στο σπίτι τους. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνουν καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο κατανάλωσης ενέργειας, και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους προκειμένου να επιτύχουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση [23].

Σε μια μεγάλη μελέτη που διεξήχθη στην Ιρλανδία μεταξύ 2009 και 2010 από την Επιτροπή Ρύθμισης Ενέργειας (CER, 2011c), όπου συμμετείχαν πάνω από 5.000 νοικοκυριά, παρατηρήθηκε μείωση της συνολικής ζήτησης κατά 2,5% και της ζήτησης στις ώρες αιχμής κατά 8,8%. Στη δοκιμή αυτή εφαρμόστηκαν ταυτόχρονα διάφορα επίπεδα ανατροφοδότησης, όπως πιο ακριβής και λεπτομερής χρέωση και γενικές πληροφορίες/συμβουλές για το πώς τα νοικοκυριά να μειώσουν την κατανάλωση τους με την χρήση έξυπνων μετρητών [22]. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η ενημέρωση των νοικοκυριών μέσω έξυπνων μετρητών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις της κατανάλωσης ενέργειας, ειδικά όταν συνδυάζεται με χρονοχρεώσεις που διαφοροποιούν το κόστος ανάλογα με την ώρα της ημέρας. Οι συσκευές αυτές δεν αφορούν μόνο την ηλεκτρική ενέργεια αλλά μπορούν επίσης να ενσωματώσουν δεδομένα από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός σπιτιού [22].

Με βάση τα δεδομένα των έξυπνων μετρητών, οι χρήστες μπορούν να λάβουν ακριβείς ειδοποιήσεις για τη χρήση ενέργειας, να εντοπίσουν περιοχές σπατάλης και να προσαρμόσουν τις συσκευές τους σε πιο αποδοτικές ρυθμίσεις. Για παράδειγμα, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να παρακολουθούν τη χρήση ενέργειας από τον θερμοσίφωνα, και να προτείνουν τη μείωση του χρόνου λειτουργίας για την αποφυγή υπερβολικής κατανάλωσης [23]. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να βοηθήσουν τόσο τους καταναλωτές όσο και τους παρόχους ενέργειας να βελτιώσουν τη διαχείριση της ζήτησης και της προσφοράς.

Οι εφαρμογές των έξυπνων μετρητών είναι ποικίλες και η αξία τους γίνεται εμφανής όταν ενσωματώνονται σε ένα ευρύτερο δίκτυο έξυπνων οικιακών συστημάτων, όπως η διαχείριση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σπίτι [24].

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το ποσοστό υιοθέτησης των έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο για το έτος 2024.



Σχήμα 3.1: Παγκόσμια υιοθέτηση των έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας το 2024 [28]

3.2 ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των έξυπνων μετρητών και η αυξανόμενη υιοθέτηση τους σε παγκόσμιο επίπεδο, προσφέρει μια νέα προσέγγιση στη διαχείριση της οικιακής ενέργειας, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ενεργά την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και ανάλυσης της κατανάλωσης.

Η ανάλυση των δεδομένων από τους έξυπνους μετρητές οδηγεί σε πιο στοχευμένες και επιστημονικά τεκμηριωμένες συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας. Αντί για γενικές οδηγίες, όπως η αποφυγή της υπερβολικής κατανάλωσης, οι χρήστες μπορούν να λάβουν εξατομικευμένες συστάσεις που προσαρμόζονται στις ενεργειακές τους συνήθειες. Στην περίπτωση των ΕΔΣ, η λήψη επιπρόσθετων δεδομένων με αισθητήρες, όπως η θερμοκρασία εσωτερικού/εξωτερικού χώρου και η κίνηση/παρουσία σε χώρους της κατοικίας, μπορούν να συνδυαστούν με δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης από έξυπνους μετρητές σε πραγματικό χρόνο, αυξάνοντας την αποδοτικότητα δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας [27].

Εκτός αυτού, μέσω ανάλυσης ιστορικών καταναλωτικών δεδομένων από τους μετρητές και συνδυασμό τους με εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι θερμοκρασίες

περιβάλλοντος ή οι συνήθειες των χρηστών, μπορούν να γίνουν προβλέψεις για τις ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού τις επόμενες ημέρες ή ώρες. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την παροχή εξατομικευμένων συμβουλών εξοικονόμησης, όπως η έγκαιρη ενημέρωση των χρηστών για την αναμενόμενη αύξηση της κατανάλωσης λόγω καιρικών συνθηκών ή η προτροπή για μείωση της χρήσης συγκεκριμένων συσκευών σε περιόδους που προβλέπεται υψηλή ζήτηση.

3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Η κατηγοριοποίηση των συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας ακολούθησε μια μεθοδική προσέγγιση, όπου έγινε διαχωρισμός με βάση τρεις κύριες παραμέτρους: τον τύπο της συμβουλής, τις δράσεις που προσφέρει κάθε συμβουλή και τον τύπο των δεδομένων που απαιτούνται για την εξαγωγή τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ακριβής μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατηγοριοποίηση των συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας για οικιακούς χρήστες.

3.3.1 Μεθοδολογία

1. Τύπος Συμβουλής

Ο τύπος της συμβουλής μπορεί να αφορά είτε πραγματικού χρόνου συστάσεις που βασίζονται σε στιγμιαία δεδομένα, είτε προληπτικές συστάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μελλοντικά [29].

Πραγματικού χρόνου συμβουλές: Αυτές οι συμβουλές βασίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, όπως η παρακολούθηση της στιγμιαίας κατανάλωσης και των αλλαγών στη θερμοκρασία. Στηρίζονται κυρίως σε αισθητήρες που μπορούν να μετρούν τη θερμοκρασία ή τη χρήση συσκευών και βάση αυτών να εξάγονται συμβουλές τις οποίες ο οικιακός χρήστης μπορεί να εφαρμόσει ακριβώς εκείνη την στιγμή που τις λαμβάνει.

Κάποια παραδείγματα παρουσιάζονται παρακάτω:

- "Το κλιματιστικό λειτουργεί συνεχόμενα για πάνω από 24 ώρες. Ελέγξτε αν είναι κατά λάθος ανοιχτό."
- "Φαίνεται ότι το κλιματιστικό σας είναι ανοιχτό, ενώ η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων."

Προληπτικές συμβουλές: Αυτές οι συμβουλές αφορούν στρατηγικές που αποσκοπούν στη μελλοντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, όπως η σύσταση για αντικατάσταση παλαιών ενεργοβόρων συσκευών με πιο αποδοτικές ή η προσαρμογή της θέρμανσης σύμφωνα με τις προβλέψεις της καιρικής αλλαγής.

Κάποια παραδείγματα παρουσιάζονται παρακάτω:

- "Παρατηρήθηκε ότι κατά μέσο όρο, ενεργοποιείτε τον θερμοσίφωνα σας για 90 λεπτά. Μπορείτε να μειώσετε αυτό το ενεργειακό κόστος μειώνοντας την λειτουργία του θερμοσίφωνα στα 45 λεπτά, δηλαδή στην μέση τιμή λειτουργίας του για ένα διαμέρισμα 2 κατοίκων."

- "Ο φωτισμός έφερε ευθύνη για το 40% της ενεργειακής σας κατανάλωσης εντός του έτους. "

2. Δράσεις

Οι δράσεις που σχετίζονται με τις συμβουλές κατανέμονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

Ενημέρωση: Η παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση ενέργειας ή τις εξωτερικές συνθήκες επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν άμεσα τη συμπεριφορά τους. Για παράδειγμα, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να ενημερώνουν τον χρήστη για τη στιγμή αιχμής κατανάλωσης, δίνοντάς του τη δυνατότητα να μειώσει τη χρήση κατά τις ακριβές ώρες αιχμής [29].

Μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες: Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να αλλάζουν τη συμπεριφορά των χρηστών παρέχοντας στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης σε σύγκριση με προηγούμενες περιόδους. Στην περίπτωση των προληπτικών συμβουλών, όπως η προσαρμογή της θερμοκρασίας του θερμοστάτη για τη βελτιστοποίηση της θέρμανσης, μελέτες επιβεβαιώνουν ότι η μακροπρόθεσμη αλλαγή στη συμπεριφορά μπορεί να μειώσει αρκετά τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση. Ωστόσο, κάποιοι χρήστες δεν είναι διατεθειμένοι να αλλάξουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες, ακόμη κι αν οι μεταβολές αυτές οδηγούν σε σημαντικές ενεργειακές εξοικονομήσεις [29].

Εξοικονόμηση ενέργειας/κόστους: Η κατηγοριοποίηση των συμβουλών δεν περιορίζεται μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά περιλαμβάνει και την εξοικονόμηση κόστους. Αυτή η διάκριση είναι σημαντική, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις η εστίαση δεν είναι αποκλειστικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και στη μείωση του κόστους μέσω της ορθής διαχείρισης της κατανάλωσης. Για παράδειγμα, συμβουλές που αφορούν τη χρήση ενέργειας σε συγκεκριμένες χρονικές ζώνες δεν μειώνουν απαραίτητα την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται, αλλά στοχεύουν στη μείωση του κόστους. Μέσω της προσαρμογής της κατανάλωσης κατά τις ώρες που οι τιμές ενέργειας είναι χαμηλότερες, οι καταναλωτές μπορούν να εξοικονομήσουν σημαντικά κόστη χωρίς δραστικές αλλαγές στη χρήση ενέργειας [22],[23].

Περιβαλλοντικά οφέλη: Η κατηγοριοποίηση των συμβουλών λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορεί να επιτευχθούν μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας με την χρήση έξυπνων μετρητών. Η δυνατότητα αποστολής και λήψης πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μεταξύ του καταναλωτή και του παρόχου ενέργειας, επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, ειδικά σε περιόδους αιχμής, και να μειώνουν τη σπατάλη ενέργειας. Με την προτροπή να χρησιμοποιείται ενέργεια κατά τις ώρες υψηλής παραγωγής, όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν περισσότερο, οι έξυπνοι μετρητές βοηθούν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών πόρων. Ειδικότερα, η χρήση των έξυπνων μετρητών συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης φορτίου, μειώνοντας τις ανάγκες για ενέργεια σε ώρες αιχμής,

γεγονός που περιορίζει την παραγωγή από ρυπογόνες πηγές ενέργειας όπως τα ορυκτά καύσιμα [31].

3. Τύπος Δεδομένων

Ως τύπο δεδομένων ορίζουμε τα διάφορα είδη πληροφοριών που συλλέγονται και επεξεργάζονται για να παραχθούν συμβουλές σε πραγματικό χρόνο. Οι τύποι δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, με βάση και το σύνολο δεδομένων το οποίο θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο, χωρίστηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες [30]:

Τιμή ενέργειας: Η δυναμική τιμολόγηση της ενέργειας ανάλογα με την ώρα της ημέρας και τη ζήτηση είναι κρίσιμος παράγοντας για την επιλογή συμβουλών σε πραγματικό χρόνο. Οι τιμές ενέργειας ποικίλλουν ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση. Οι συμβουλές που προτείνουν τη μείωση της κατανάλωσης κατά τις ώρες αιχμής ή την εκμετάλλευση χαμηλών τιμών ενέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους. Η ενημέρωση των καταναλωτών για τις ώρες με χαμηλότερο κόστος ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης κατά τις ώρες αιχμής [23].

Εξωτερική θερμοκρασία: Οι καιρικές συνθήκες, και ειδικά η εξωτερική θερμοκρασία, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωση ενός σπιτιού, ειδικά όσον αφορά τη χρήση συσκευών θέρμανσης και ψύξης. Η προσαρμογή των συμβουλών με βάση τις καιρικές συνθήκες μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη χρήση ενέργειας [27].

Εσωτερική θερμοκρασία: Η προσαρμογή της θερμοκρασίας του σπιτιού με χρήση έξυπνων μετρητών και η σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία προσφέρει μια σαφή εικόνα των συνθηκών που πρέπει να αποφεύγονται, όπως η χρήση κλιματιστικού ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί φυσικός αερισμός [20],[27].

Στο Σχήμα 3.2 περιγράφεται σχηματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατηγοριοποίηση φιλικών συμβουλών εξοικονόμησης για οικιακούς χρήστες, βασισμένες σε δεδομένα έξυπνων μετρητών.



Σχήμα 3.2: Μεθοδολογία επιλογής και κατηγοριοποίησης συμβουλών

3.3.2 Επιλεγμένες συμβουλές

Με βάση τη μεθοδολογία που περιεγράφηκε, και το σύνολο δεδομένων που διατίθενται, οι συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με μια σειρά από κριτήρια, όπως η επίδραση στις καταναλωτικές συνήθειες, η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης αυτής παρουσιάζονται μέσα από 10 επιλεγμένες συμβουλές, οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν με τη χρήση έξυπνων μετρητών σε συνεργασία με έξυπνες συσκευές και αισθητήρες. Αυτό είναι το τελικό στάδιο της διαδικασίας που βασίζεται στην επιλογή συμβουλών, για οικιακούς χρήστες βάση δεδομένων από έξυπνους μετρητές. Σε αυτό το στάδιο, παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των συμβουλών που έχουν επιλεγεί με βάση τα δεδομένα τα οποία διαθέτουμε.

Συμβουλή 1: Τάση στην ημερήσια αιχμή κατανάλωσης

- **Συνοπτική περιγραφή:** Αυτή η συμβουλή βασίζεται στην παρακολούθηση των ωρών μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης ισχύος. Οι χρήστες μπορούν να παρατηρούν τις αιχμές κατανάλωσης σε σύγκριση με τα άλλα σπίτια όμοιων χαρακτηριστικών (π.χ. περιοχή, αριθμός κατοίκων, εμβαδόν οικίας) και να προσαρμόζουν τη χρήση τους, μειώνοντας την κατανάλωση κατά τις ώρες αιχμής.
- **Παράδειγμα:** "Η ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος της τελευταίας ημέρας ήταν 7500W, η οποία είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή των μέγιστων αιχμών των υπόλοιπων σπιτιών."
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση αιχμών)
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση με ακρίβεια κάτω των 30 δευτερολέπτων
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 2: Συσχέτιση ημερήσιας αιχμής κατανάλωσης ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία

- **Συνοπτική περιγραφή:** Αυτή η συμβουλή συνδέει την αιχμή κατανάλωσης ενέργειας με τις εξωτερικές θερμοκρασίες, βοηθώντας τους χρήστες να κατανοήσουν πότε η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται λόγω εξωτερικών συνθηκών.
- **Παράδειγμα:** "Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος σας για την επόμενη εβδομάδα είναι 4000W."
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση αιχμών).
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, εξωτερική θερμοκρασία
 - Τύπος Εξοπλισμού: Αισθητήρες θερμοκρασίας, Έξυπνος μετρητής
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 3: Συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία

- **Συνοπτική περιγραφή:** Σε αυτή την συμβουλή δίνεται έμφαση στην εβδομαδιαία πρόβλεψη κατανάλωσης ενέργειας, βάση της εξωτερικής θερμοκρασίας.
- **Παράδειγμα:** "Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η κατανάλωση σας εκτιμάται σε 63.5 kWh την επόμενη εβδομάδα."
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση εκπομπών CO₂).
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, εξωτερική θερμοκρασία
 - Τύπος Εξοπλισμού: Αισθητήρες θερμοκρασίας, έξυπνος μετρητής

- Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 4: Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας

- **Συνοπτική περιγραφή:** Η συμβουλή αυτή αφορά την αποσύνθεση της κατανάλωσης ενέργειας, με σκοπό την αναγνώριση της συσκευής που επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση της κατοικίας.
- **Παράδειγμα:** “Τον τελευταίο μήνα, ο λέβητας θέρμανσης καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας και η κατανάλωση του είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών (42 kWh).”
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση κατανάλωσης ενέργειας)
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση και επιμέρους ηλεκτρικές καταναλώσεις μεμονωμένων συσκευών
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής, έξυπνες πρίζες και άλλα μετρητικά ανάλυσης μεμονωμένων συσκευών
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 5: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε χρονικές ζώνες

- **Συνοπτική περιγραφή:** Αυτή η συμβουλή ενθαρρύνει τους χρήστες να χρησιμοποιούν ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, όπου οι τιμές της ενέργειας είναι χαμηλότερες. Έτσι, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση κόστους χωρίς αλλαγή στις καταναλωτικές συνήθειες.
- **Παράδειγμα:** “Το υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας εμφανίζεται το πρωί. Προγραμματίστε τις ενεργοβόρες δραστηριότητες για τις ώρες 23:00-07:00 όπου η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη.”
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση κόστους, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση αιχμών).
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, δεδομένα τιμών ενέργειας
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 6: Εξοικονόμηση χρημάτων λόγω μεταφοράς αιχμών κλιματιστικών

- **Συνοπτική περιγραφή:** Οι χρήστες μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα μεταφέροντας τη χρήση κλιματιστικών από τις ώρες αιχμής σε χαμηλής ζήτησης ώρες.
- **Παράδειγμα:** “Σύμφωνα με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους, εάν μεταφέρετε τις αιχμές κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες, θα εξοικονομήσετε συνολικά 34.45€.”
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, περιβαλλοντικά οφέλη (βελτιστοποίηση χρήσης κλιματισμού), εξοικονόμηση κόστους

- Δεδομένα: Ηλεκτρική κατανάλωση μεμονωμένων συσκευών (κλιματιστικά), δεδομένα τιμών ενέργειας
- Τύπος Εξοπλισμού: Αισθητήρες θερμοκρασίας, έξυπνος μετρητής, έξυπνα κλιματιστικά/ έξυπνες πρίζες
- Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 7: Συσχέτιση κατανάλωσης κλιματισμού με εξωτερική θερμοκρασία

- **Συνοπτική περιγραφή:** Η συμβουλή προτείνει τη μείωση της χρήσης κλιματιστικών όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι σε επίπεδα που επιτρέπουν άλλες λύσεις, όπως ο φυσικός αερισμός.
- **Παράδειγμα:** "Φαίνεται ότι ξεχνάτε γενικά ανοιχτό το κλιματιστικό όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων. Είναι μια συνήθεια που είναι καλό να ελαττωθεί για καλύτερη εξοικονόμηση. "
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση χρήσης κλιματισμού), εξοικονόμηση ενέργειας
 - Δεδομένα: Ηλεκτρική κατανάλωση μεμονωμένων συσκευών (κλιματιστικά), εξωτερική θερμοκρασία, θερμοκρασία σπιτιού (εσωτερική)
 - Τύπος Εξοπλισμού: Αισθητήρες θερμοκρασίας, έξυπνος μετρητής, έξυπνα κλιματιστικά/έξυπνες πρίζες
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 8: Ανάλυση κατανάλωσης/χρήσης συσκευών

- **Συνοπτική περιγραφή:** Οι χρήστες μπορούν να αναλύσουν την καθημερινή χρήση συσκευών για να εντοπίσουν ποια από αυτές καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια και να προσαρμόσουν τη χρήση τους ανάλογα.
- **Παράδειγμα:** "Το κλιματιστικό λειτουργεί συνεχόμενα για πάνω από 24 ώρες. Ελέγξτε αν είναι κατά λάθος ανοιχτό."
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση χρήσης κλιματιστικού).
 - Δεδομένα: Ηλεκτρική κατανάλωση μεμονωμένων συσκευών
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής, έξυπνες πρίζες και άλλα μετρητικά ανάλυσης μεμονωμένων συσκευών (π.χ. δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας νερού χρήσης σε θερμοσίφωνα)
 - Τύπος Συμβουλής: Πραγματικού χρόνου

Συμβουλή 9: Σύγκριση κατανάλωσης με το προηγούμενο έτος σε μηνιαία βάση

- **Συνοπτική περιγραφή:** Αυτή η σύγκριση βασίζεται σε δεδομένα σε μηνιαίο επίπεδο και επιτρέπει στους χρήστες να δουν πώς συγκρίνεται η κατανάλωση τους με το προηγούμενο έτος δεδομένων ανά μήνα.
- **Παράδειγμα:** "Παρά την συνολική αύξηση της κατανάλωσης κατά 30% , η κατανάλωση σας είναι κάτω από το μέσο όρο παρόμοιων οικιών(312 kWh), οπότε δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας."
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (βελτίωση ενεργειακής χρήσης)
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Συμβουλή 10: Σύγκριση κατανάλωσης με το προηγούμενο έτος σε ετήσια βάση

- **Συνοπτική περιγραφή:** Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους σε ετήσιο χρονικό επίπεδο επιτρέπει στους χρήστες να δουν την μεταβολή των καταναλωτικών τους μοτίβων συγκριτικά με το προηγούμενο έτος.
- **Παράδειγμα:** "Σύμφωνα με το μοτίβο κατανάλωσης σας ανά ώρα παρατηρείται ότι το έτος 2023 υπάρχει αύξηση στην ημερήσια κατανάλωση καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται κατά το πρωί (6:00 - 12:00). "
- **Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης:**
 - Δράσεις: Ενημέρωση, μεταβολή στις καταναλωτικές συνήθειες, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικά οφέλη (βελτίωση ενεργειακής χρήσης)
 - Δεδομένα: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση
 - Τύπος Εξοπλισμού: Έξυπνος μετρητής
 - Τύπος Συμβουλής: Προληπτική

Η τελική λίστα συμβουλών επικεντρώνεται κυρίως σε προληπτικού τύπου προτάσεις, καθώς οι συμβουλές πραγματικού χρόνου συνήθως απαιτούν εξοπλισμό ελέγχου, κάτι που δεν είναι ευρέως διαθέσιμο. Επιπλέον, η υπερβολική χρήση συμβουλών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να οδηγήσει σε υπερπληροφόρηση και ενόχληση του τελικού χρήστη.

Συνολικά τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3:

Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση Συμβουλών 1-4

Αύξων Αριθμός	Συμβουλή	Παραδείγματα Συμβουλών	Τύπος Συμβουλής	Δεδομένα και Δράσεις							Τύπος Εξοπλισμού
				Ενημέρωση	Μεταβολή στις Καταναλωτικές Συνήθειες	Δεδομένα Τιμών Ενέργειας	Δεδομένα Εξωτερικής Θερμοκρασίας	Δεδομένα Θερμοκρασίας Σπιτιού	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Περιβαλλοντικά Οφέλη	
1	Τάση στην ημερήσια αιχμή κατανάλωσης.	"Η ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος της τελευταίας ημέρας είναι 7000W, η οποία είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή των μέγιστων αιχμών των υπόλοιπων σπιτιών."	Προληπτική	✓	✓				✓	Βελτίωση στην εξισορρόπηση ζήτησης και αποφυγή αιχμών που οδηγούν σε μεγαλύτερη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας.	Έξυπνος μετρητής
2	Συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία.	"Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος σας για την επόμενη εβδομάδα είναι 4000W."	Προληπτική	✓	✓		✓		✓	Αποφυγή υπερφόρτωσης του δικτύου, εξισορρόπηση ενεργειακής ζήτησης, μείωση ανάγκης για επιπλέον πηγές ενέργειας, προώθηση βιώσιμων πρακτικών κατανάλωσης.	Αισθητήρες θερμοκρασίας Έξυπνος μετρητής
3	Συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία.	"Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η κατανάλωσή σας εκτιμάται σε 63.95 kWh την επόμενη εβδομάδα."	Προληπτική	✓	✓		✓		✓	Βελτιστοποίηση χρήσης ενέργειας, μείωση εκπομπών CO ₂ , ενίσχυση ενεργειακής απόδοσης.	Αισθητήρες θερμοκρασίας Έξυπνος μετρητής
4	Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας	"Τον τελευταίο μήνα, ο λέβητας θέρμανσης καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας και η κατανάλωσή του είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών (42 kWh)."	Προληπτική	✓					✓	Μείωση εκπομπών CO ₂ μέσω βελτίωσης στην ενεργειακή απόδοση, περιορισμός σπατάλης ενέργειας από αναποτελεσματικές διαδικασίες θέρμανσης.	Έξυπνος μετρητής Έξυπνες πρίζες Μετρητικά ανάλυσης μεμονωμένων συσκευών

Πίνακας 3.2: Κατηγοριοποίηση Συμβουλών 5-7

Αύξων Αριθμός	Συμβουλή	Παραδείγματα Συμβουλών	Τύπος Συμβουλής	Δεδομένα και Δράσεις							Τύπος Εξοπλισμού
				Ενημέρωση	Μεταβολή στις Καταναλωτικές Συνήθειες	Δεδομένα Τιμών Ενέργειας	Δεδομένα Εξωτερικής Θερμοκρασίας	Δεδομένα Θερμοκρασίας Σπιτιού	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Περιβαλλοντικά Οφέλη	
5	Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε χρονικές ζώνες	"Το υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας εμφανίζεται το πρωί. Προγραμματίστε τις ενεργοβόρες δραστηριότητες για τις ώρες 23:00-07:00 όπου η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη"	Προληπτική	✓	✓	✓				Μείωση της ζήτησης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, μείωση της χρήσης ενεργειακών πόρων, όπως ορυκτά καύσιμα.	Έξυπνος μετρητής
6	Εξοικονόμηση χρημάτων λόγω μεταφοράς αιχμών κλιματιστικών.	"Σύμφωνα με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους, εάν μεταφέρετε τις αιχμές κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες, θα εξοικονομήσετε συνολικά : 34.45 €"	Προληπτική	✓	✓	✓				Μείωση της ζήτησης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, μείωση της χρήσης βλαβερών προς το περιβάλλον ορυκτών καυσίμων.	Έξυπνος μετρητής Έξυπνα κλιματιστικά / πρίζες Αισθητήρες θερμοκρασίας
7	Συσχέτιση κατανάλωσης κλιματιστικών με εξωτερική θερμοκρασία.	"Φαίνεται ότι ξεχνάτε γενικά ανοιχτό το κλιματιστικό όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων. Είναι μια συνήθεια που είναι καλό να ελαττωθεί για καλύτερη εξοικονόμηση."	Προληπτική	✓	✓		✓	✓	✓	Βελτίωση του συστήματος κλιματισμού, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τους θερμότερους μήνες, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.	Έξυπνος μετρητής Έξυπνα κλιματιστικά / πρίζες Αισθητήρες θερμοκρασίας

Πίνακας 3.3: Κατηγοριοποίηση Συμβουλών 8-10

Δεδομένα και Δράσεις												
Αύξων Αριθμός	Συμβουλή	Παραδείγματα Συμβουλών	Τύπος Συμβουλής	Ενημέρωση	Μεταβολή στις Καταναλωτικές Συνήθειες	Δεδομένα Τιμών Ενέργειας	Δεδομένα Εξωτερικής Θερμοκρασίας	Δεδομένα Θερμοκρασίας Σπιτιού	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Περιβαλλοντικά Οφέλη	Τύπος Εξοπλισμού	
8	Ανάλυση κατανάλωσης/χρήσης συσκευών.	"Το κλιματιστικό λειτουργεί συνεχόμενα για πάνω από 24 ώρες. Ελέγξτε αν είναι κατά λάθος ανοιχτό."	Πραγματικού χρόνου	✓	✓				✓	Βελτιστοποίηση της χρήσης συσκευών, συμβολή στη μείωση των εκπομπών CO ₂ μέσω αποδοτικότερης λειτουργίας.	Έξυπνος μετρητής Έξυπνες πρίζες Μετρητικά Μεμονωμένων δεδομένων	
9	Σύγκριση κατανάλωσης με το προηγούμενο έτος σε μηνιαία βάση.	"Παρά την συνολική αύξηση της κατανάλωσης κατά 31.91% , η κατανάλωσή σας είναι κάτω από το μέσο όρο (312 kWh), οπότε δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας."	Προληπτική	✓			✓	✓	✓	Εντοπισμός τάσεων ενεργειακής κατανάλωσης που βοηθά στη μείωση της υπερβολικής κατανάλωσης, συνεισφέροντας στη μείωση της ζήτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας.	Έξυπνος μετρητής	
10	Σύγκριση κατανάλωσης με το προηγούμενο έτος σε ωραία βάση.	"Σύμφωνα με το μοτίβο κατανάλωσης σας ανά ώρα παρατηρείται ότι σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος υπάρχει αύξηση στην ημερήσια κατανάλωση καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται κατά το πρωί."	Προληπτική	✓	✓				✓	Εντοπισμός συγκεκριμένων ωρών με υψηλή κατανάλωση, διευκολύνοντας τη μείωση αιχμών και την αποδοτικότερη κατανομή της ενέργειας, με αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές CO ₂ .	Έξυπνος Μετρητής	

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ PLEGMA DATASET

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το σύνολο δεδομένων από το οποίο θα εξαχθούν τα πραγματικά δεδομένα είναι το Plegma Dataset. Το Plegma dataset είναι ένα πλήρες σύνολο δεδομένων που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος Marie Skłodowska-Curie Action GECKO, με σκοπό την προώθηση της έρευνας γύρω από την ενεργειακή κατανάλωση σε οικιακούς χώρους και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω έξυπνων τεχνολογιών. Συγκεντρώνοντας δεδομένα από πολλαπλές πηγές, όπως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες αλλά και θερμοκρασιακά δεδομένα εντός του σπιτιού, το Plegma dataset προσφέρει μια σαφή και λεπτομερή εικόνα της ενεργειακής χρήσης στα νοικοκυριά. Επίσης, αποτελεί το πρώτο σύνολο δεδομένων οικιακών μετρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής συχνότητας στην Ελλάδα.

Σύμφωνα με δημοσιεύσεις, το Plegma dataset δημιουργήθηκε για να καλύψει ερευνητικές ανάγκες, εστιάζοντας στην ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών, τον εντοπισμό ενεργοβόρων συσκευών και την παροχή εξατομικευμένων συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους. Τα δεδομένα του είναι εξαιρετικά λεπτομερή, περιλαμβάνοντας καταγραφές σε επίπεδο συσκευής με χρονική ακρίβεια, επιτρέποντας στους ερευνητές να διερευνήσουν πώς η κατανάλωση ενέργειας μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνήθειες των κατοίκων, την ώρα της ημέρας και τις εξωτερικές συνθήκες. Το σύνολο δεδομένων είναι ελεύθερα προσβάσιμο μέσω του αποθετηρίου Strathprints του Πανεπιστημίου Strathclyde και ακολουθεί τις αρχές FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable)¹.

Επομένως, το Plegma dataset αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε νοικοκυριά, δίνοντας τη δυνατότητα στους ερευνητές να προχωρήσουν σε αναλύσεις που αποσκοπούν στη μείωση της ενεργειακής σπατάλης [30].

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει μια διεπαφή για τους χρήστες που τους επιτρέπει να παρακολουθούν και να οπτικοποιούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα βασίζεται σε πρωτόκολλο επικοινωνίας Z-Wave, το οποίο εξασφαλίζει αξιόπιστη αλληλεπίδραση μεταξύ των παρακολουθούμενων συσκευών και της κεντρικής πύλης δεδομένων.

¹ FAIR: [10.15129/3b01a6c6-2efd-424a-b8b8-5fe7fa445ded](https://doi.org/10.15129/3b01a6c6-2efd-424a-b8b8-5fe7fa445ded)

Το Plegma Dataset παρέχεται σε δύο μορφές: την ακατέργαστη (raw) και την επεξεργασμένη (clean) έκδοσή του.

Η ακατέργαστη μορφή του συνόλου δεδομένων περιλαμβάνει τα αρχικά συλλεγμένα δεδομένα, χωρίς καμία προκαταρκτική επεξεργασία. Αυτή η μορφή περιλαμβάνει όλες τις αρχικές μετρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των ανώμαλων τιμών και των κενών δεδομένων (data gaps) που αποδίδονται σε προβλήματα εξοπλισμού ή διακοπές της σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Αντίθετα, η επεξεργασμένη μορφή του συνόλου δεδομένων αντιπροσωπεύει τα δεδομένα μετά την εφαρμογή ενός προτεινόμενου πλαισίου προ-επεξεργασίας. Αυτό το πλαίσιο επεξεργασίας αντιμετωπίζει διάφορες κρίσιμες πτυχές, δηλαδή διασφαλίζει ότι όλα τα δεδομένα είναι συνεπή και συγκρίσιμα και περιλαμβάνει τη διόρθωση ή την απαλοιφή ανώμαλων τιμών και την πλήρωση των κενών δεδομένων.

Η χρήση της επεξεργασμένης έκδοχής του συνόλου δεδομένων επιλέχθηκε για την ανάλυσή μας λόγω της αυξημένης αξιοπιστίας που προσφέρει, εξασφαλίζοντας την ακεραιότητα των αναλύσεων που θα γίνουν στο πλαίσιο της εργασίας.

Το σύνολο δεδομένων συγκεκριμένα περιλαμβάνει δεδομένα από 13 οικιακές μονάδες που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας, επιτρέποντας την εξέταση ποικίλων κλιματικών συνθηκών, όπως οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ ηπειρωτικών και παραθαλάσσιων περιοχών. Αυτό προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες [30].

Η χρονική διάρκεια των δεδομένων διαφέρει από κάθε σπίτι και μπορεί να είναι από 6 μέχρι και 15 μήνες, επιτρέποντας την καταγραφή σταδιακών αλλαγών στη χρήση συσκευών λόγω εποχικών αλλαγών ή ανθρώπινης συμπεριφοράς. Τα έτη τα οποία περιλαμβάνουν αυτές οι χρονικές περίοδοι είναι το 2022 και το 2023, με κάποιες χρονικές περιόδους βέβαια να εκτείνονται μόνο στο ένα από τα δύο έτη.

Τα δεδομένα εισόδου του παρόντος dataset προέρχονται από τρεις κύριες πηγές:

1. **Δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης (Electric Data):** Αυτά τα δεδομένα παρέχουν πληροφορίες για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας διάφορων οικιακών συσκευών, όπως τα κλιματιστικά, ο θερμοσίφωνας, το ψυγείο, και το πλυντήριο ρούχων. Τα δεδομένα αυτά είναι καταγεγραμμένα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης σε Watt (W) ανά 10 δευτερόλεπτα, προσφέροντας λεπτομερή απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας ανά συσκευή, αλλά και της συνολικής κατανάλωσης του κάθε σπιτιού. Τα δεδομένα συλλέγονται σε μορφή χρονοσειρών, με χρονικές σημάνσεις (timestamps) που αντιστοιχούν στον χρόνο καταγραφής της κατανάλωσης.

Σε ορισμένες χρονικές στιγμές, μπορεί να εμφανίζονται ανωμαλίες στις μετρήσεις, όπου η καταγεγραμμένη κατανάλωση ενέργειας σε επίπεδο συσκευής υπερβαίνει τη συνολική καταγεγραμμένη κατανάλωση του σπιτιού. Αυτές οι ανωμαλίες σημειώνονται στο πεδίο ζητήματα (issues), όπου κάθε χρονική στιγμή με ανωμαλία σημειώνεται με την τιμή 1, ενώ όλες οι άλλες χρονικές στιγμές σημειώνονται με 0, δείχνοντας ότι δεν υπάρχει ανωμαλία. Παρότι τα δεδομένα έχουν καθαριστεί και προετοιμαστεί για ανάλυση, οι πληροφορίες για τα ζητήματα (issues) διατηρούνται στο επεξεργασμένο σύνολο δεδομένων για λόγους διαφάνειας. Στην συγκεκριμένη εργασία, δεν έχει ληφθεί υπόψη αυτή η παράμετρος αφού είναι δύσκολο να βρεθεί μια

αξιόπιστη μέθοδος διόρθωσης που να μην εισάγει νέα σφάλματα όταν μάλιστα οι ανωμαλίες είναι σπάνιες και μικρές, εφόσον το dataset είναι ήδη σε καθαρισμένη μορφή. Στα ηλεκτρικά δεδομένα συμπεριλαμβάνονται και μεταδεδομένα για τις συσκευές, όπως κατώφλια ισχύος (thresholds). Αυτά τα δεδομένα καθορίζουν πότε μια συσκευή θεωρείται ενεργοποιημένη (π.χ. αν η ισχύς υπερβεί ένα συγκεκριμένο κατώφλι). Τα μεταδεδομένα περιλαμβάνονται σε ξεχωριστά αρχεία και περιέχουν τις πληροφορίες για τις συσκευές όπως τα όρια λειτουργίας τους. Αυτά τα κατώφλια ισχύος μας βοηθούν να αναγνωρίζουμε πότε μια συσκευή βρίσκεται σε λειτουργία και συμβάλλουν στην παραγωγή πιο ακριβών αναλύσεων που αφορούν την χρονική διάρκεια λειτουργίας κάθε συσκευής.

Πίνακας 4.1: Περιγραφή των πεδίων στα αρχεία δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας [30]

Πεδίο	Περιγραφή
datetime	Ημερομηνία και ώρα της καταγραφής σε μορφή MM/DD/YYYY HH:MM AM/PM (UTC+3)
V	Στιγμιαία τάση σε Volt (V)
A	Στιγμιαίο ρεύμα σε Amper (A)
P_agg	Στιγμιαία συνολική ισχύς σε Watt (W)
Συσκευή 1 Συσκευή N	Στιγμιαία ισχύς της συσκευής σε Watt (W)
Ζητήματα (issues)	Χρονικές στιγμές όπου η κατανάλωση σε επίπεδο συσκευής υπερβαίνει τη συνολική καταγεγραμμένη κατανάλωση σημειώνονται ως 1, ενώ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις σημειώνονται ως 0.

Πίνακας 4.2: Διαθέσιμες συσκευές κάθε σπιτιού [30]

Συσκευές/Αριθμός σπιτιού	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Σύνολο
Πλυντήριο ρούχων	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	12
Πλυντήριο πιάτων	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	✓	-	4
Κλιματιστικό	2✓	✓	2✓	2✓	✓	-	2✓	✓	-	2✓	3✓	✓	✓	18
Ψυγείο	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2✓	✓	14
Λέβητας	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
Πλυντήριο-Στεγνωτήριο	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	1
Βραστήρας	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

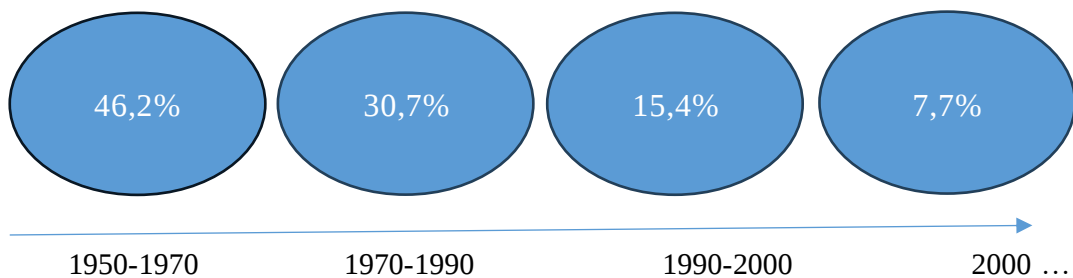
2. **Δεδομένα περιβαλλοντικών συνθηκών (Environmental Data):** Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν μετρήσεις για την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία ενός σπιτιού, καταγράφοντας τις θερμοκρασίες σε °C. Οι περίοδοι καταγραφής τους διαφέρουν από αυτές των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης και μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικούς μήνες καταγραφής. Οι μετρήσεις συλλέγονται σε παρόμοια μορφή χρονοσειρών με τα δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης, όμως στην προκειμένη περίπτωση έχουμε μετρήσεις σε χρονικό επίπεδο 15 λεπτών και όχι 10 δευτερολέπτων.

Πίνακας 4.3: Περιγραφή των πεδίων στα αρχεία δεδομένων περιβαλλοντικών μετρήσεων [30]

Πεδίο	Περιγραφή
datetime	Ημερομηνία και ώρα της καταγραφής σε μορφή MM/DD/YYYY HH:MM AM/PM (UTC+3)
internal_temperature	Στιγμιαία εσωτερική θερμοκρασία σε Κελσίου
internal_humidity	Στιγμιαία εσωτερική υγρασία σε ποσοστό (%)
external_temperature	Στιγμιαία εξωτερική θερμοκρασία σε Κελσίου
external_humidity	Στιγμιαία εξωτερική υγρασία σε ποσοστό (%)

3. **Κοινωνικοδημογραφικά δεδομένα, κτιριακά χαρακτηριστικά και δεδομένα χρήσης συσκευών:** Ένα βασικό ερωτηματολόγιο σχετικά με τις κοινωνικοδημογραφικές πτυχές των συμμετεχόντων και τα χαρακτηριστικά του κτιρίου αναπτύχθηκε για να παρέχει μια επισκόπηση των κοινωνικών και κτιριακών παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας, όπως ο αριθμός των κατοίκων, η ηλικία, το μορφωτικό επίπεδο, το φύλο, το εισόδημα, η τυπολογία της

κατοικίας, το μέγεθος του σπιτιού, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, μεταξύ άλλων. Επιπλέον, συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τον χρόνο χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και τις συνήθειες των συμμετεχόντων όσον αφορά τη χρήση αυτών των συσκευών, προκειμένου να μελετηθούν οι μεταβολές και τα μοτίβα των ενεργειών αυτών, τα οποία σχετίζονται με τη ζήτηση ενέργειας και την ευελιξία της χρήσης. Και τα δύο ερωτηματολόγια εφαρμόστηκαν σε όλους τους 13 συμμετέχοντες το καλοκαίρι του 2023 μέσω τηλεφώνου για 4 συμμετέχοντες και διά ζώσης για τους υπόλοιπους 9. Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αφορούν τα κτιριακά χαρακτηριστικά. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως το έτος κατασκευής του κτιρίου, αν έχει γίνει ανακαίνιση, τον τύπο θέρμανσης, και άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα δεδομένα κατανάλωσης για την παροχή συμβουλών που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση με βάση τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Αναλυτικά, τα δεδομένα δείχνουν ότι το 92,3% των κατοικιών που περιλαμβάνονται στη μελέτη είναι διαμερίσματα, ενώ το υπόλοιπο 7,7% είναι μονοκατοικίες. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όσον αφορά το έτος κατασκευής των κατοικιών, πάνω από το 75% έχει κατασκευαστεί πριν το 1990. Τα ακριβή ποσοστά που αφορούν το έτος κατασκευής των κατοικιών, παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1:



Σχήμα 4.1: Έτος κατασκευής διαθέσιμων σπιτιών [30]

Συνολικά, τα δεδομένα περιλαμβάνουν εκατοντάδες χιλιάδες καταγραφές για κάθε σπίτι, που επιτρέπουν την λεπτομερή ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης και των συνθηκών των χρηστών σε σχέση με τις εξωτερικές και εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

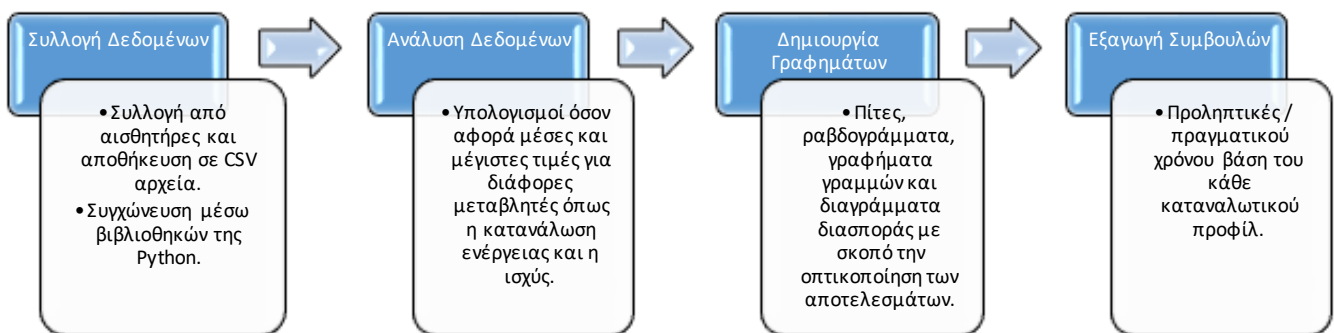
Η μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων, που συλλέγονται από το Plegma dataset περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια και βασίζεται στην επεξεργασία δεδομένων με την χρήση της γλώσσας Python:

- ✓ Συλλογή δεδομένων: Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες που καταγράφουν τις μεταβλητές, όπως η κατανάλωση ενέργειας, η θερμοκρασία, και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο.

Η συλλογή αυτών των δεδομένων πραγματοποιείται σε μορφή αρχείων CSV, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη αποθήκευση και ανάγνωση των δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση. Στη συνέχεια, τα δεδομένα συγχωνεύονται με τη βοήθεια βιβλιοθηκών της Python, όπως η Pandas και η Numpy, που παρέχουν τη δυνατότητα για διαχείριση και επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων [32],[33].

- ✓ **Ανάλυση δεδομένων:** Στο στάδιο αυτό, πραγματοποιούνται υπολογισμοί μέσων και μέγιστων τιμών για διάφορες μεταβλητές που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας και την ισχύ. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων που δείχνουν πώς διαμορφώνονται οι καταναλωτικές συνήθειες σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και συνθήκες. Για παράδειγμα, υπολογίζονται οι αιχμές κατανάλωσης ενέργειας, οι διακυμάνσεις στις τιμές ισχύος, και η συσχέτιση αυτών με περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η εξωτερική θερμοκρασία.
- ✓ **Δημιουργία γραφημάτων:** Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, δημιουργούνται γραφήματα, όπως πίτες, ραβδογράμματα, γραφήματα γραμμών, και διαγράμματα διασποράς. Τα γραφήματα αυτά επιτρέπουν την οπτική απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας, των διαφορών στη χρήση συσκευών ή των διακυμάνσεων ισχύος σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η οπτικοποίηση των δεδομένων είναι κρίσιμη, καθώς επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των καταναλωτικών μοτίβων και τη σύγκριση με ιστορικά δεδομένα.
- ✓ **Εξαγωγή συμβουλών:** Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την εξαγωγή ενεργειακών συμβουλών βασισμένων στα προαναφερθέντα δεδομένα και γραφήματα. Αυτές οι συμβουλές εξήχθησαν σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η μέθοδος ανάλυσης και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή των επιλεγμένων συμβουλών με την χρήση της γλώσσας Python :



Σχήμα 4.2: Μέθοδος ανάλυσης με την χρήση Python

4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ PYTHON

Η Python είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού για την επεξεργασία δεδομένων, κυρίως λόγω της ευελιξίας και της πλούσιας βιβλιοθήκης της. Ειδικά στον τομέα της ανάλυσης ενεργειακών δεδομένων και της εξαγωγής συμπερασμάτων από έξυπνους μετρητές, η Python παρέχει ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων με απλότητα και ακρίβεια. Στην συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως βιβλιοθήκες όπως τα `pandas`, `numpy`, `matplotlib` και `scikit-learn`, οι οποίες επιτρέπουν την αποδοτική διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων [32],[33],[34],[35].

4.4.1 Συλλογή και συγχώνευση δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων αφορούσε την εξαγωγή των δεδομένων από CSV αρχεία και τη συγχώνευσή τους σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων.

Για τη συγχώνευση, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές συγχώνευσης βάσει κοινών χαρακτηριστικών, όπως η χρονική σφραγίδα και τα δεδομένα θερμοκρασίας. Αυτό επέτρεψε τη σύνδεση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας με τις αντίστοιχες καιρικές συνθήκες, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς. Η χρήση του `merge` από την βιβλιοθήκη `pandas` ήταν κρίσιμη για την ενοποίηση των δεδομένων σε ένα συνεκτικό σύνολο. Η βιβλιοθήκη `pandas` παρέχει εύχρηστα εργαλεία για τη διαχείριση χρονοσειρών, την επαναδειγματοληψία δεδομένων και την εφαρμογή λειτουργιών όπως η ομαδοποίηση και η συγχώνευση δεδομένων, επιτρέποντας τη γρήγορη και αποτελεσματική προετοιμασία των δεδομένων για ανάλυση.

4.4.2 Χρονική προετοιμασία δεδομένων

Κατά την ανάλυση των δεδομένων, ήταν απαραίτητο να γίνει φιλτράρισμα των αιχμών κατανάλωσης ενέργειας. Για να αποφεύγονται οι ψευδείς αιχμές (μικρής διάρκειας αιχμές που δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικές αλλαγές στη συμπεριφορά), εφαρμόστηκε χρονικό φιλτράρισμα σε παράθυρο 15 λεπτών. Αυτό το φιλτράρισμα διασφαλίζει ότι οι αιχμές που ανιχνεύονται έχουν διάρκεια μεγαλύτερη των 15 λεπτών, δίνοντας έτσι έμφαση σε πιο ουσιαστικές αλλαγές στη ζήτηση ενέργειας κι έτσι θα εξομαλυνθούν οι βραχύβιες διακυμάνσεις της κατανάλωσης ενέργειας, που δεν αντιπροσωπεύουν σημαντικές αλλαγές στην κατανάλωση. Αυτό έγινε με χρήση κυλιόμενου παραθύρου μέσης τιμής (`rolling mean`), το οποίο εξασφαλίζει ότι οι αιχμές που καταγράφονται δεν επηρεάζονται από τυχαίες και στιγμιαίες αυξήσεις κατανάλωσης. Ο υπολογισμός της κυλιόμενης μέσης τιμής ισχύος (μέσος όρος των τελευταίων N τιμών της ισχύος μέχρι τη στιγμή t) δίνεται από την εξίσωση 4.1:

$$P_{avg}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} P(t-i) \quad (4.1)$$

Όπου:

- $P_{avg}(t)$ είναι η μέση ισχύς στο χρονικό διάστημα t .

- N είναι ο αριθμός των δειγμάτων που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του μέσου όρου (πλήθος μετρητικών τιμών σε διάστημα 15 λεπτών)
- $P(t - i)$ είναι η τιμή ισχύος τη χρονική στιγμή $(t - i)$

Η βιβλιοθήκη `pandas` χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του κυλιόμενου παραθύρου, επιτρέποντας την εύκολη εφαρμογή των μέσων όρων σε δεδομένα χρονοσειρών.

Επιπλέον, για την ανάλυση των ημερήσιων και μηνιαίων προφίλ κατανάλωσης, έγινε αναδιάταξη των δεδομένων ανά ημέρα και μήνα για τον υπολογισμό των μέσων τιμών κατανάλωσης ενέργειας είτε αιχμών ισχύος σε μηνιαία ή ημερήσια βάση.

Επίσης σε περιπτώσεις όπου είχαμε συγκρίσεις θερμοκρασιακών και καταναλωτικών δεδομένων με βάση κάποιο χρονικό ορίζοντα, τα δεδομένα συγχρονίστηκαν με βάση τις χρονικές σφραγίδες σε κοινές χρονικές περιόδους ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα δεδομένα κατανάλωσης ευθυγραμμίζονται με τα δεδομένα θερμοκρασίας και τα κτιριακά χαρακτηριστικά.

4.4.3 Κανονικοποίηση δεδομένων

Στη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας, εφαρμόστηκε κανονικοποίηση και μετατροπή των τιμών σε kWh. Η ενεργειακή κατανάλωση από το `Plegma` dataset δίνεται σε επίπεδο ισχύος (W) σε δεδομένα χρονικού βήματος 10 δευτερολέπτων, και τα δεδομένα αυτά μετατράπηκαν σε kWh, την κοινή αποδεκτή μονάδα μέτρησης της ενέργειας. Η μετατροπή της ισχύος σε kWh έγινε βάση της εξίσωσης 4.2:

$$E(\text{kWh}) = \frac{P(W) \times \Delta t(s)}{3600000} \quad (4.2)$$

Όπου:

- $E(\text{kWh})$ είναι η ενέργεια σε κιλοβατώρες.
- $P(W)$ είναι η ισχύς σε Watt.
- $\Delta t(s)$ είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα, ο οποίος στην περίπτωση μας είναι 10 δευτερόλεπτα.

Στην συγκεκριμένη μετατροπή χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη `NumPy` της γλώσσας Python, η οποία παρέχει υποστήριξη για μεγάλους, πολυδιάστατους πίνακες και μαθηματικές λειτουργίες. Η `NumPy` ήταν κρίσιμη για την αποδοτική εκτέλεση των αριθμητικών υπολογισμών που απαιτούνται για τη μετατροπή της ισχύος σε ενέργεια, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα των διαδικασιών.

ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των 10 εξατομικευμένων συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές, βασιζόμενοι σε πραγματικά δεδομένα από το Plegma dataset. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί αναλυτικά κάθε βήμα της μεθοδολογίας, από την ανάλυση των δεδομένων μέχρι την παραγωγή συγκεκριμένων συμβουλών, με έμφαση στις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν για να μετατραπούν τα ευρήματα του συνόλου δεδομένων σε πρακτικές προτάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε οικιακούς χώρους. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην επιλογή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή κάθε μίας από τις συμβουλές.

Τέλος, θα οπτικοποιήσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης, παρουσιάζοντας γραφήματα και διαγράμματα που αποκαλύπτουν τα ενεργειακά μοτίβα και τις τάσεις κατανάλωσης, διευκολύνοντας την κατανόηση της επίδρασης των προτεινόμενων ενεργειών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, θα αναδειχθεί πώς τα πραγματικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε ουσιαστικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των νοικοκυριών, προσφέροντας συγκεκριμένες και εφαρμόσιμες συμβουλές για κάθε νοικοκυριό.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Η ανάλυση ενεργειακής κατανάλωσης σε διάφορους χρονικούς ορίζοντες αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την εξαγωγή στοχευμένων συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας. Μέσω της λεπτομερούς μελέτης των δεδομένων, αναδεικνύονται τα πρότυπα κατανάλωσης και οι αποκλίσεις που μπορεί να συμβαίνουν ανάλογα με την ώρα της ημέρας ή τον μήνα. Στην παρούσα ενότητα, θα παρουσιαστούν οι συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτουν από την σύγκριση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας σε μηνιαίο και σε ωριαίο χρονικό επίπεδο μεταξύ των δύο τελευταίων ετών (2022-2024), για τα οποία διαθέτουμε δεδομένα κατανάλωσης για κάθε σπίτι.

5.2.1 Ανάλυση σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα

Η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα βασίζεται στη μετατροπή και ομαδοποίηση των ενεργειακών δεδομένων που συλλέγονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να αποκαλυφθούν ετήσια πρότυπα και μοτίβα μέσης ωριαίας κατανάλωσης. Ο στόχος της ανάλυσης σε ωριαίο επίπεδο είναι να προσδιοριστούν οι χρονικές ζώνες με αυξημένη ή μειωμένη κατανάλωση ενέργειας σε καθημερινή βάση, στο βάθος ενός έτους. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κατοίκων και τη διατύπωση συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Διαδικασία ανάλυσης



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής ανάλυσης σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα

1. **Συλλογή δεδομένων:** Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας συλλέγονται από έξυπνους μετρητές ανά 10 δευτερόλεπτα, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
2. **Μετατροπή σε kWh:** Τα δεδομένα που συλλέγονται σε Watt μετατρέπονται σε kWh, βάση της εξίσωσης 4.2 που δόθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
3. **Ομαδοποίηση κατά ώρα:** Αφού τα δεδομένα μετατραπούν σε kWh, γίνεται ομαδοποίηση ανά ώρα με τη χρήση της μεθόδου «resample» της βιβλιοθήκης «pandas» στην Python. Αυτό μας επιτρέπει να συγκεντρώσουμε τις μετρήσεις για κάθε ώρα της ημέρας και να υπολογίσουμε τη συνολική ή τη μέση κατανάλωση ενέργειας για κάθε ώρα.
 - **Σύγκριση μεταξύ ετών:** Τα ωριαία δεδομένα που έχουν προκύψει συγκρίνονται για τα δύο πιο πρόσφατα διαθέσιμα έτη. Μέσω αυτής της σύγκρισης, μπορούμε να δούμε αν υπάρχει αυξητική ή πτωτική τάση στην κατανάλωση ενέργειας για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Βέβαια, ο κώδικας ελέγχει τον αριθμό των διαθέσιμων ετών, γιατί σε περίπτωση που για κάποιο σπίτι έχουμε δεδομένα μόνο για ένα έτος, τότε δεν μπορεί να εφαρμοσθεί η συγκεκριμένη ανάλυση.
4. **Διαχωρισμός σε χρονικές ζώνες:** Οι ώρες της ημέρας χωρίζονται σε τέσσερις βασικές χρονικές ζώνες:
 - Πρωί (6:00 - 12:00)
 - Μεσημέρι (12:00 - 18:00)
 - Απόγευμα/Βράδυ (18:00 - 24:00)
 - Μεταμεσονύχτιο (0:00 - 6:00)

Για κάθε χρονική ζώνη υπολογίζεται η μέση κατανάλωση ενέργειας και εντοπίζονται οι ζώνες με την μεγαλύτερη αύξηση ή μείωση.

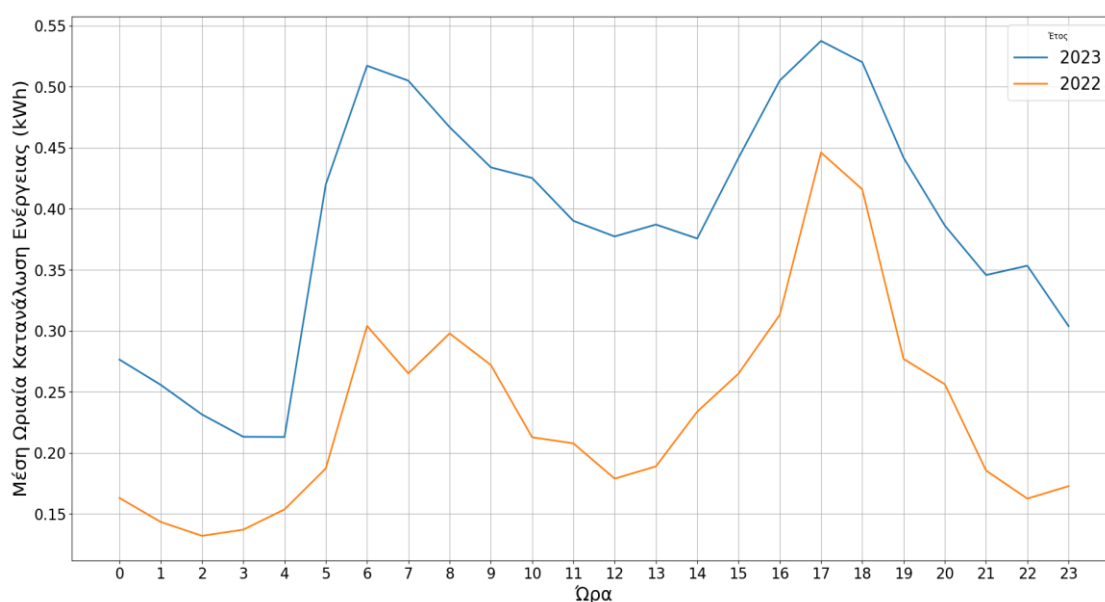
5. **Εξαγωγή συμβουλών:** Η εξαγωγή συμβουλών γίνεται με βάση συγκεκριμένα μοτίβα και τάσεις που αναδύονται από τη σύγκριση των ωριαίων δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας ανά έτος. Μια σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει αφορά την ύπαρξη γενικής αύξησης ή μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και αντίστοιχη αύξηση ή μείωση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό διαπιστώνεται με την ανάλυση της μέσης ωριαίας κατανάλωσης για το τρέχον και το προηγούμενο έτος. Βέβαια, είτε η αύξηση/μείωση μας παρουσιάζεται σε όλη την διάρκεια της ημέρας, είτε

σε χρονικές ζώνες, πάντα εστιάζουμε στην χρονική ζώνη όπου είχαμε την πιο σημαντική αύξηση/μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

6. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Για την καλύτερη κατανόηση των μοτίβων κατανάλωσης, χρησιμοποιούνται γραφήματα που συγκρίνουν την ωριαία κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των δύο τελευταίων ετών. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν τις διαφορές στην κατανάλωση ανά ώρα της ημέρας, διευκολύνοντας την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη διατύπωση στοχευμένων συμβουλών.

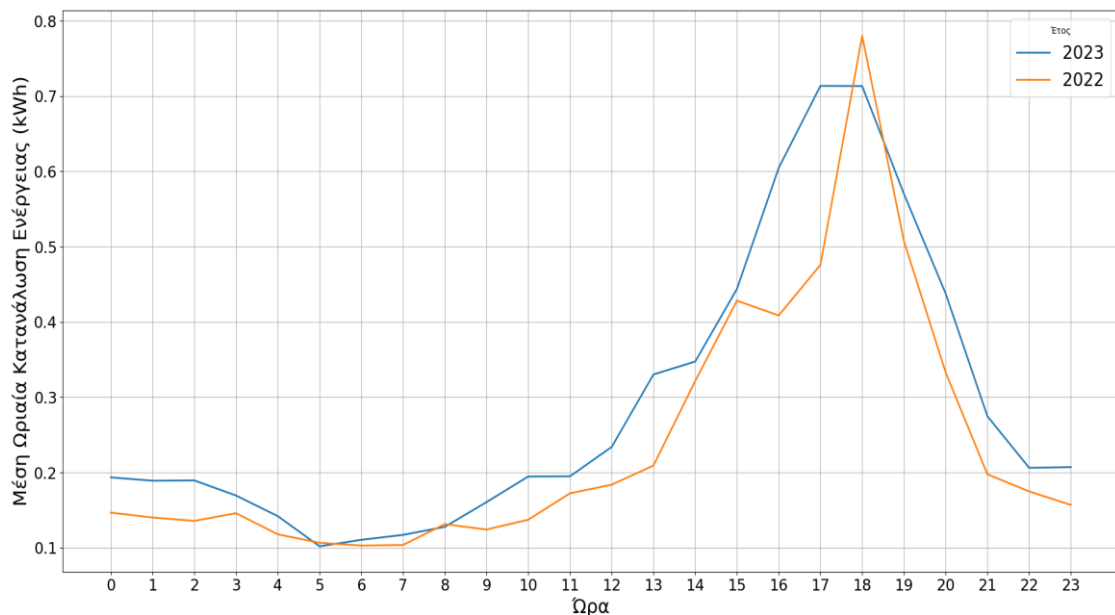
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μετά την παρουσίαση της διαδικασίας ανάλυσης, ακολουθεί η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας για τα Σπίτια 01 και 03, για τα οποία έχουμε διαθέσιμα δεδομένα για τα δύο τελευταία έτη κατανάλωσης και μπορεί να εφαρμοσθεί αυτή η μεθοδολογία.



Σχήμα 5.2: Σύγκριση ωριαίας κατανάλωσης ενέργειας για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Σύμφωνα με το μοτίβο κατανάλωσης σας ανά ώρα παρατηρείται ότι το έτος 2023 υπάρχει αύξηση στην ημερήσια κατανάλωση καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται κατά το πρωί (6:00 - 12:00).»



Σχήμα 5.3: Σύγκριση ωριαίας κατανάλωσης ενέργειας για το σπίτι #03

Συμβουλή: «Σύμφωνα με το μοτίβο κατανάλωσης ανά ώρα παρατηρείται ότι το έτος 2023 υπάρχει μια γενική αύξηση στην κατανάλωση. Η μεγαλύτερη αύξηση καταγράφηκε κατά το Μεσημέρι (12:00 - 18:00).»

Οι συμβουλές που παρέχουμε για τα σπίτια 01 και 03 χαρακτηρίζονται ως προληπτικού τύπου, με τη μορφή ειδοποίησης ή προειδοποίησης προς τους κατοίκους, σε ετήσιο χρονικό επίπεδο, ώστε να μπορέσουν να δράσουν εγκαίρως και να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση. Αυτές οι ειδοποιήσεις βοηθούν τους καταναλωτές να είναι προετοιμασμένοι και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα, όταν διαφαίνεται ότι η κατανάλωσή τους τείνει να αυξάνεται σε συγκεκριμένες χρονικές ζώνες.

Αν συγκρίνουμε τα δύο σπίτια, παρατηρούμε τις εξής διαφορές:

- Στο σπίτι #01, η αύξηση κατανάλωσης ενέργειας είναι πιο έντονη κατά τις πρωινές ώρες (6:00 - 12:00), ενώ στο σπίτι #03, η κατανάλωση κορυφώνεται κατά τις μεσημεριανές ώρες (12:00 - 18:00).
- Παρόλο που και τα δύο σπίτια δείχνουν γενική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για το 2023, παρατηρούμε ότι στο σπίτι #01 η αύξηση της κατανάλωσης διαρκεί για όλη την διάρκεια της ημέρας.

Η στόχευση των πιο ενεργοβόρων χρονικών ζωνών αποτελεί το κλειδί για την αποδοτική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

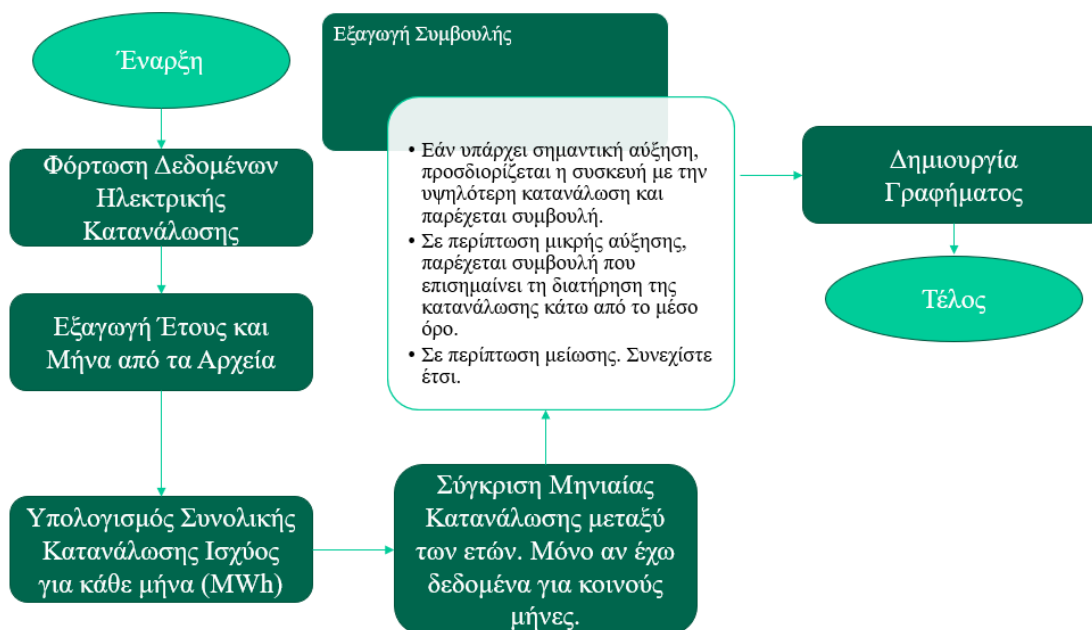
5.2.2 Ανάλυση σε μηνιαίο χρονικό ορίζοντα

Αυτή η κατηγορία συμβουλών έχει ως στόχο την προληπτική ενημέρωση των κατοίκων για την ενεργειακή κατανάλωση σε μηνιαίο επίπεδο. Με την ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας ανά μήνα, μπορούμε να εντοπίσουμε αύξηση ή μείωση στην ενεργειακή συμπεριφορά των νοικοκυριών και να παρέχουμε στοχευμένες συμβουλές για την αποφυγή υπερβολικής κατανάλωσης, σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος.

Η συγκεκριμένη κατηγορία συμβουλών επιδιώκει να ενημερώσει εκ των προτέρων τους καταναλωτές για τις ενεργειακές τους τάσεις και να τους βοηθήσει να δράσουν εγκαίρως ώστε να μειώσουν τις αιχμές κατανάλωσης ενέργειας σε μηνιαίο επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω

ειδοποιήσεων που προειδοποιούν για υπερβολική χρήση ενέργειας σε συγκεκριμένους μήνες και τους καθοδηγούν για το πώς να μειώσουν τη χρήση ενεργοβόρων συσκευών.

Διαδικασία ανάλυσης



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα ροής ανάλυσης σε μηνιαίο χρονικό ορίζοντα

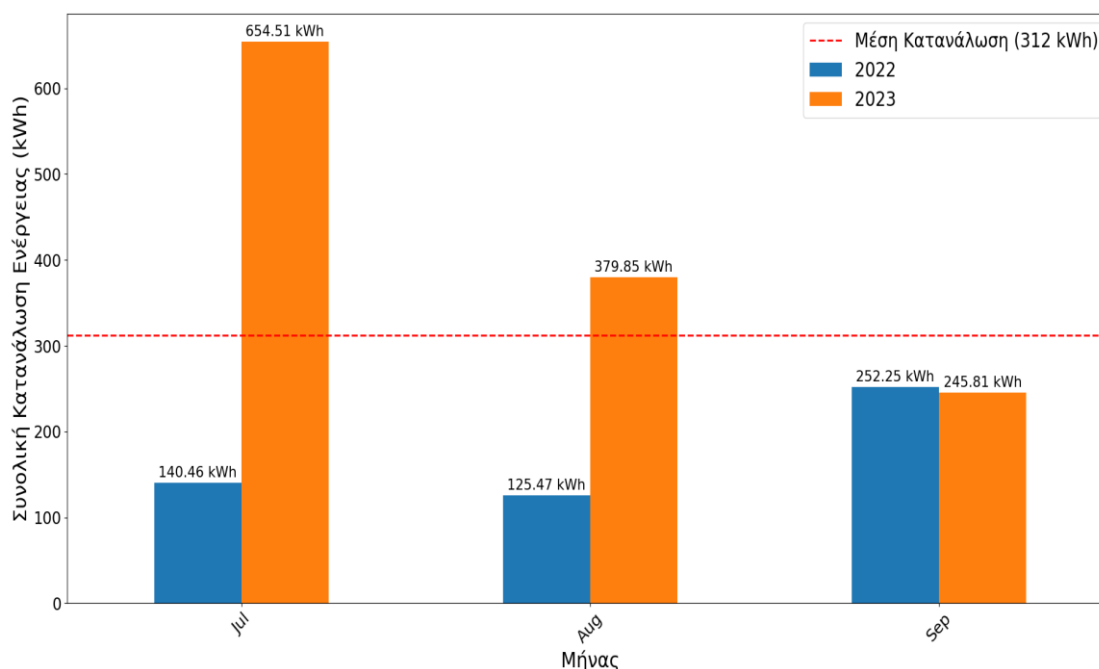
1. **Συλλογή δεδομένων:** Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας συλλέγονται από έξυπνους μετρητές σε διαστήματα 10 δευτερολέπτων, όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα δεδομένα αυτά καταγράφουν την ενεργειακή κατανάλωση ανά σπίτι και ανά συσκευή.
2. **Μετατροπή σε kWh:** Τα δεδομένα που συλλέγονται σε Watt μετατρέπονται σε kWh.
3. **Ομαδοποίηση κατανάλωσης ανά μήνα:** Αφού μετατραπούν τα δεδομένα, γίνεται ομαδοποίηση της συνολικής κατανάλωσης για κάθε μήνα. Αυτό επιτρέπει την σύγκριση της ενεργειακής κατανάλωσης μεταξύ των μηνών του ίδιου έτους, με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους, ώστε να εντοπιστούν διαφορές και τάσεις.
4. **Σύγκριση μεταξύ ετών:** Τα δεδομένα κατανάλωσης για τους μήνες του 2022 και του 2023 συγκρίνονται για να εντοπιστούν σημαντικές αυξήσεις ή μειώσεις. Αυτή η σύγκριση αποκαλύπτει τις περιόδους με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και μας επιτρέπει να παρέχουμε στοχευμένες συμβουλές. Βέβαια, η σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο αν έχουμε δεδομένα κατανάλωσης για κοινούς μήνες μεταξύ των δύο ετών.
5. Για αυτό τον λόγο, γίνεται ο εξής έλεγχος:
 - **Μόνο ένα έτος δεδομένων:** Ο κώδικας ελέγχει τον αριθμό των διαθέσιμων ετών. Αν βρεθεί μόνο ένα έτος, τότε επιστρέφεται μήνυμα που αναφέρει ότι δεν είναι δυνατή η σύγκριση με προηγούμενα έτη.
 - **Χωρίς κοινά δεδομένα:** Εάν υπάρχουν δεδομένα για δύο έτη, αλλά δεν υπάρχουν κοινά μήνες, τότε ο κώδικας επιστρέφει μήνυμα που αναφέρει ότι δεν υπάρχουν κοινά δεδομένα για σύγκριση μεταξύ των δύο ετών.
6. **Εξαγωγή συμβουλών:** Η ανάλυση της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας περιλαμβάνει και τη σύγκριση με τον μέσο όρο κατανάλωσης ενός ελληνικού νοικοκυριού, ο οποίος είναι 312 kWh σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Αυτός ο μέσος όρος λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας. Παρόλο που μπορεί να υπάρχει σημαντική αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος, αν η κατανάλωση παραμένει κάτω από αυτόν τον μέσο όρο, η κατανάλωση θεωρείται εντός επιθυμητών ορίων.

- **Αν η κατανάλωση υπερβαίνει τις 312 kWh:**
Σε περίπτωση που η κατανάλωση ενός μήνα υπερβεί το όριο των 312 kWh, ο κώδικας παρέχει ειδοποίηση για τη σημαντική αύξηση. Παράλληλα, εντοπίζει τη συσκευή που συνέβαλε περισσότερο σε αυτήν την αύξηση, προτείνοντας τη μείωση της χρήσης της.
- **Αν η κατανάλωση παραμένει κάτω από τις 312 kWh:**
Ακόμα κι αν παρατηρείται αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος, αν η συνολική κατανάλωση είναι μικρότερη από τις 312 kWh, ο κώδικας παρέχει μια θετική συμβουλή. Η συμβουλή αυτή ενημερώνει τον χρήστη ότι η κατανάλωση είναι κάτω από το μέσο όρο και επομένως δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας.
- **Σε περίπτωση μείωσης κατανάλωσης:**
Αν η κατανάλωση είναι μικρότερη από το προηγούμενο έτος, ο κώδικας παρέχει θετική ειδοποίηση που ενθαρρύνει τους κατοίκους να συνεχίσουν τη σωστή διαχείριση της ενέργειας.

7. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Για να διευκολυνθεί η κατανόηση των δεδομένων, χρησιμοποιούνται γραφήματα που απεικονίζουν τη συνολική κατανάλωση ανά μήνα για τα έτη 2022 και 2023, για τους μήνες που έχουμε δεδομένα σύγκρισης.

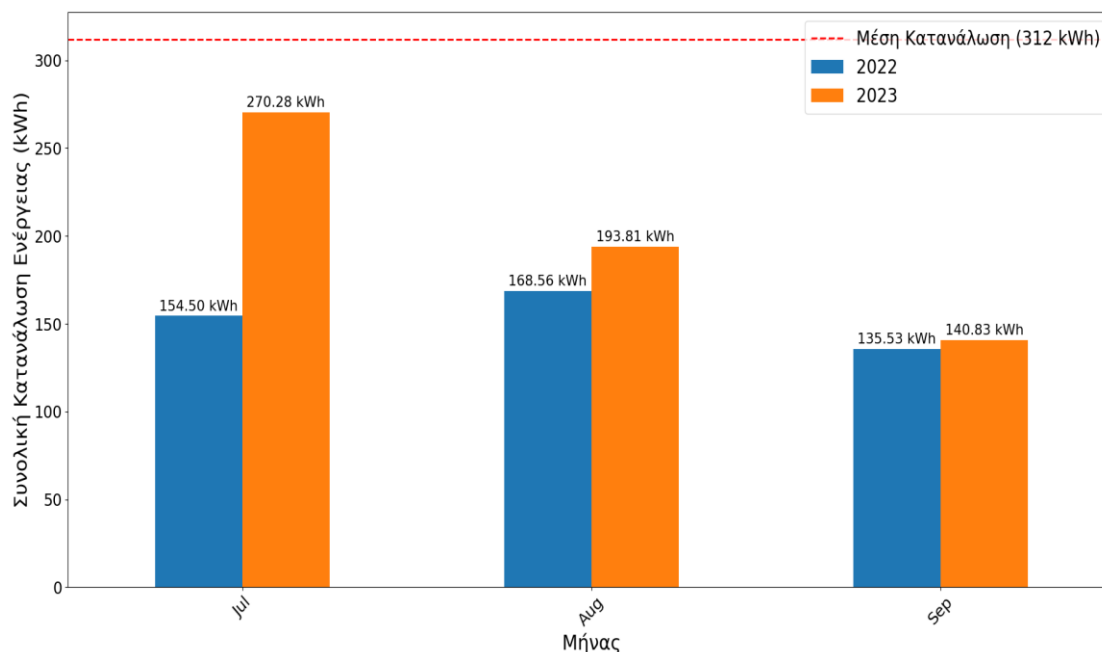
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μετά την ανάλυση της μεθοδολογίας, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα Σπίτια 01 και 03, για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας με κοινούς μήνες για τα δύο τελευταία έτη. Με αυτά τα δεδομένα, μπορεί να εφαρμοσθεί η μεθοδολογία της μηνιαίας σύγκρισης κατανάλωσης και να εξαχθούν στοχευμένες συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας.



Σχήμα 5.5: Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2022 και 2023 για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Τον μήνα Ιούλιο, υπήρξε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης κατά 365.98%. Εξετάστε τη χρήση του ac_2 καθώς συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση αυτή.» Αντίστοιχα, «τον μήνα Αύγουστο, υπήρξε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης κατά 202.73%. Εξετάστε τη χρήση του ac_2.»



Σχήμα 5.6: Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2022 και 2023 για το σπίτι #03

Συμβουλή: «Παρά την συνολική αύξηση της κατανάλωσης κατά 31.91% , η κατανάλωση σας είναι κάτω από το μέσο όρο (312 kWh), οπότε δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας.»

Οι συμβουλές που παρέχονται για τα σπίτια #01 και #03 χαρακτηρίζονται ως προληπτικού τύπου, με τη μορφή ειδοποίησης ή προειδοποίησης προς τους κατοίκους και δίνονται σε ετήσιο χρονικό επίπεδο. Στην προκειμένη περίπτωση, είναι τυχαίο που διατίθενται δεδομένα κατανάλωσης, για ακριβώς τους ίδιους μήνες, για τα δύο τελευταία έτη κατανάλωσης των δύο σπιτιών.

Αν συγκρίνουμε τα δύο σπίτια, παρατηρούμε τα εξής:

- Σπίτι #01: Η κατανάλωση παρουσιάζει σημαντικές αυξήσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο Ιούλιος ειδικά δείχνει μια έντονη κορύφωση στην κατανάλωση (654.51 kWh), πολύ πάνω από τον μέσο όρο των 312 kWh, ενώ η κατανάλωση διατηρείται αυξημένη και τους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες.
- Σπίτι #03: Αν και παρατηρούνται αυξήσεις στην κατανάλωση, αυτές δεν είναι τόσο έντονες όσο στο Σπίτι #01. Ο Ιούλιος δείχνει αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος, αλλά παραμένει κάτω από το όριο των 312 kWh. Η κατανάλωση τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο είναι πιο σταθερή και ελεγχόμενη.

Η στόχευση των πιο ενεργοβόρων μηνών και η διαχείριση των συσκευών που συμβάλλουν στις αυξήσεις, όπως το κλιματιστικό, αποτελούν κλειδί για την αποδοτική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΧΜΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

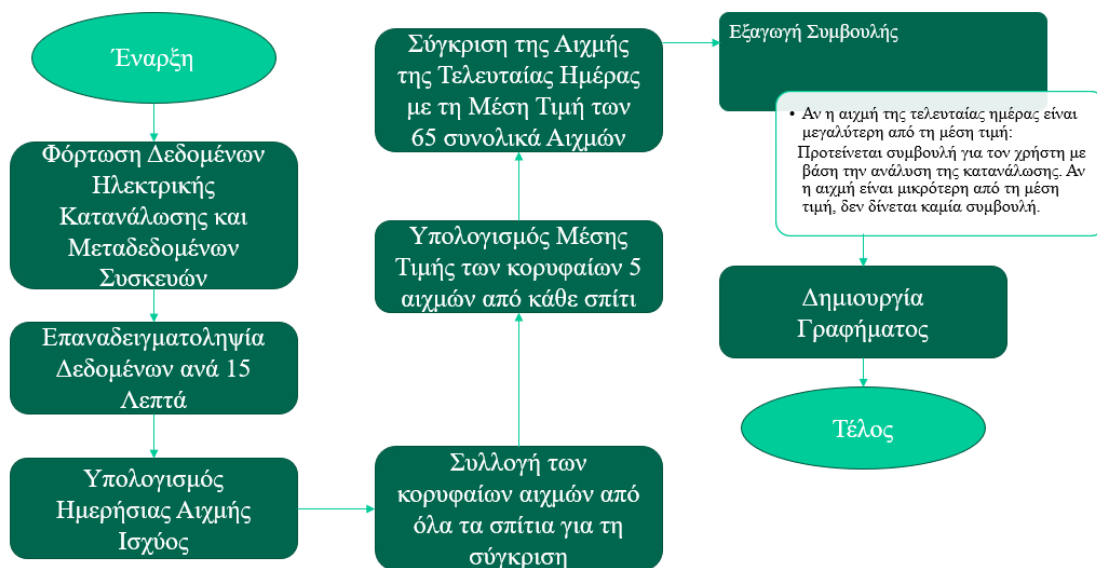
Η ανάλυση αιχμών κατανάλωσης ισχύος αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την εξαγωγή στοχευμένων συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας. Η μελέτη των αιχμών καταναλωμένης ισχύος σε ημερήσιο χρονικό ορίζοντα επιτρέπει την αναγνώριση των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες η κατανάλωση φτάνει σε μέγιστα επίπεδα. Η μείωση των αιχμών

κατανάλωσης συμβάλλει στην προστασία του δικτύου από υπερφορτώσεις, καθώς και στη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής αποδοτικότητας του νοικοκυριού.

5.3.1 Ανάλυση σε ημερήσιο χρονικό ορίζοντα

Στη συγκεκριμένη ανάλυση, μελετούνται οι αιχμές σε επίπεδο κοινότητας, κάτι που μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τη μέση τιμή των αιχμών κατανάλωσης από όλα τα σπίτια. Για κάθε σπίτι, η αιχμή της τελευταίας ημέρας συγκρίνεται με τη μέση τιμή των 5 μεγαλύτερων καταγεγραμμένων αιχμών από κάθε σπίτι, δηλαδή την μέση τιμή 65 αιχμών κατανάλωσης, καθώς τα δεδομένα αφορούν 13 διαφορετικά σπίτια. Αυτό βοηθά στην κατανόηση του πότε η κατανάλωση ενός νοικοκυριού βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα σε σύγκριση με την υπόλοιπη κοινότητα ή αν χρειάζεται παρέμβαση.

Διαδικασία ανάλυσης



Σχήμα 5.7: Διάγραμμα ροής ανάλυσης σε ημερήσιο χρονικό ορίζοντα

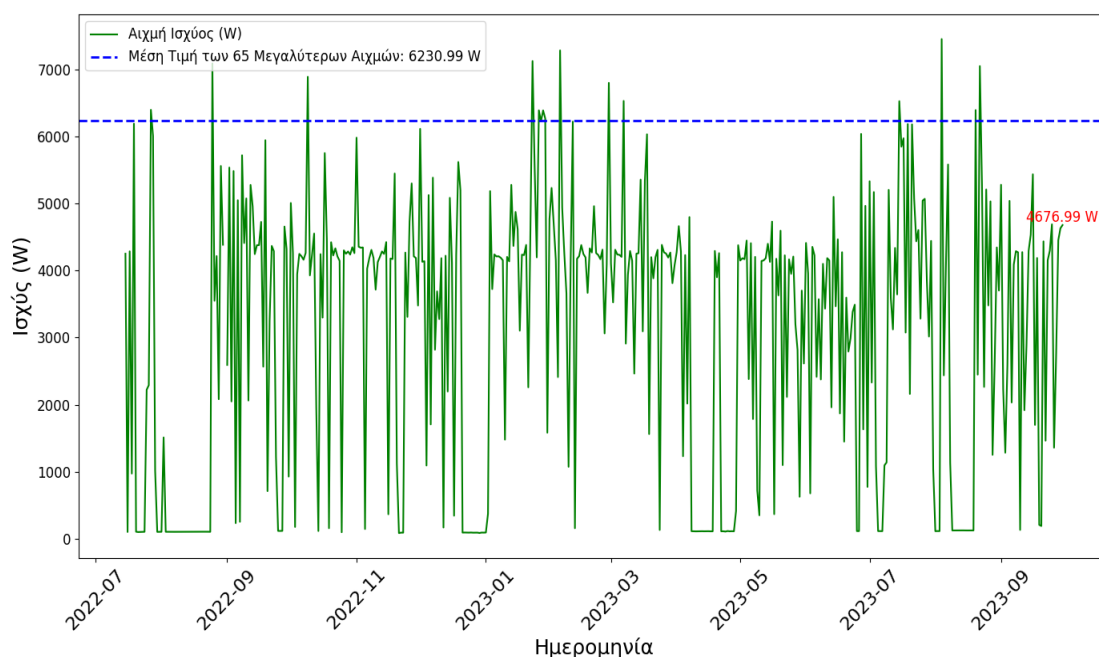
1. **Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων:** Τα δεδομένα καταγράφονται ανά 10 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια επαναδειγματοληπτούνται ανά 15 λεπτά για να υπολογιστεί ο κινούμενος μέσος όρος της κατανάλωσης ισχύος, σύμφωνα με την εξίσωση 4.1 του προηγούμενου κεφαλαίου. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται για να εξομαλυνθούν οι βραχύχρονες διακυμάνσεις στην κατανάλωση ισχύος και να εντοπιστούν πιο αξιόπιστα οι πραγματικές αιχμές κατανάλωσης ισχύος.
2. **Υπολογισμός ημερήσιων αιχμών:** Αφού γίνει η ομαδοποίηση των δεδομένων, υπολογίζονται οι μέγιστες τιμές κατανάλωσης ισχύος για κάθε ημέρα. Οι μέγιστες τιμές ανά ημέρα (δηλαδή οι 15-λεπτές αιχμές) καταγράφονται, και από αυτές εντοπίζονται οι 5 μεγαλύτερες αιχμές για κάθε σπίτι, στο σύνολο δεδομένων που διαθέτουμε.
3. **Συλλογή κορυφαίων αιχμών από κάθε σπίτι:** Συλλέγονται οι κορυφαίες 5 αιχμές από όλα τα σπίτια της κοινότητας, και στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή των κορυφαίων αιχμών για όλα τα σπίτια. Αυτή η μέση τιμή χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για να συγκριθεί με τις αιχμές που καταγράφηκαν για κάθε σπίτι.
4. **Εξαγωγή συμβουλών:** Η αιχμή της τελευταίας ημέρας, για την οποία υπάρχουν δεδομένα, συγκρίνεται με τη μέση τιμή των 65 συνολικά μεγαλύτερων αιχμών. Αν η αιχμή της τελευταίας ημέρας ξεπερνά αυτήν τη μέση τιμή, παρέχεται συμβουλή στον χρήστη σε μορφή ειδοποίησης για υψηλή αιχμή κατανάλωσης ισχύος. Αν η αιχμή είναι

μικρότερη από τη μέση τιμή, δεν παρέχεται συμβουλή, καθώς η μέγιστη αιχμή είναι σε φυσιολογικά επίπεδα.

5. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Για κάθε σπίτι δημιουργείται ένα διάγραμμα που παρουσιάζει τις ημερήσιες αιχμές κατανάλωσης ισχύος. Στο διάγραμμα αυτό προστίθεται η μέση τιμή των 65 μεγαλύτερων αιχμών ως σημείο αναφοράς, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με τις αιχμές της τελευταίας ημέρας. Αν η αιχμή είναι μεγαλύτερη, τότε παρέχεται συμβουλή στον κάτοικο για τη μείωση της κατανάλωσης.

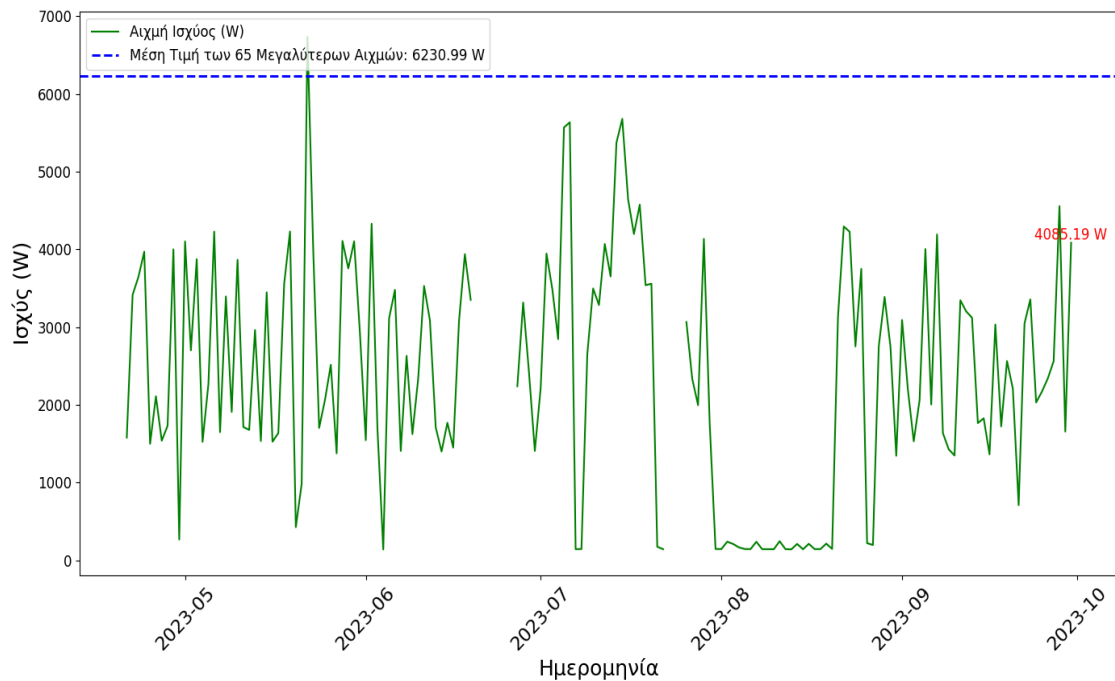
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Με βάση τα δεδομένα και την παραπάνω ανάλυση, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα σπίτια #01 και #10, όπως απεικονίζεται στα διαγράμματα που συνοδεύουν την ανάλυση. Η τελευταία ημέρα δεδομένων, για την οποία γίνεται αναφορά είναι η 30/09/2023 και για τα δύο σπίτια.



Σχήμα 5.8: Ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος για το σπίτι #01

Σπίτι #01: Η ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος της τελευταίας ημέρας είναι 4676,99 W < 6230,99 W, άρα δεν χρειάζεται να δώσουμε κάποια συμβουλή στον χρήστη.



Σχήμα 5.9: Ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος για το σπίτι #10

Σπίτι #10: Αντίστοιχα η ημερήσια αιχμή κατανάλωσης ισχύος της τελευταίας ημέρας είναι 4065,19 W < 6230,99W.

- **Σπίτι #01:** Η ημερήσια αιχμή της τελευταίας ημέρας είναι 4676,99 W (κόκκινα γράμματα), η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από τη μέση τιμή των 6230,99 W (διακεκομμένη γραμμή). Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να δώσουμε κάποια συμβουλή στον χρήστη για αυτό το σπίτι.
- **Σπίτι #10:** Αντίστοιχα, η ημερήσια αιχμή της τελευταίας ημέρας είναι 4065,19 W, η οποία επίσης είναι χαμηλότερη από τη μέση τιμή των 6230,99 W. Και σε αυτή την περίπτωση, η κατανάλωση βρίσκεται σε επιθυμητά επίπεδα, οπότε δεν απαιτείται η εξαγωγή κάποιας συμβουλής για το χρήστη.

Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, η κατανάλωση ισχύος των σπιτιών είναι χαμηλότερη από τη μέση τιμή των κορυφαίων αιχμών, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι κάτοικοι διατήρησαν χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης κατά τις ώρες αιχμής την τελευταία ημέρα. Ως εκ τούτου, δεν απαιτείται να δοθεί κάποια προειδοποιητική ή προληπτική συμβουλή για τη μείωση της κατανάλωσης.

5.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η συσχέτιση της ενεργειακής κατανάλωσης με τις εξωτερικές συνθήκες, και ιδιαίτερα με την εξωτερική θερμοκρασία, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ενεργειακή ζήτηση σε οικιακό επίπεδο. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την εξαγωγή στοχευμένων συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς μας βοηθά να αναγνωρισθεί πώς οι θερμοκρασιακές μεταβολές επιδρούν στην ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και τις αιχμές ισχύος. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην προσαρμογή της χρήσης κλιματιστικών συσκευών, καθώς και άλλων ενεργοβόρων συσκευών, ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες. Στις επόμενες αναλύσεις θα εξεταστεί πώς η ημερήσια αιχμή ισχύος και η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας επηρεάζονται από την

εξωτερική θερμοκρασία, καθώς και πώς το φορτίο κλιματισμού ανταποκρίνεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας.

5.4.1 Συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία

Στη συγκεκριμένη ανάλυση, στόχος είναι η πρόβλεψη της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για την επόμενη εβδομάδα με βάση τις προβλεπόμενες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη είναι προκαθορισμένες και αντιπροσωπεύουν τις αναμενόμενες καιρικές συνθήκες για τις επόμενες ημέρες. Η μέθοδος αυτή φανερώνει πώς οι αλλαγές στη θερμοκρασία επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός νοικοκυριού και παρέχει εξατομικευμένες συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας, ανάλογα με τις επικείμενες καιρικές συνθήκες.

Η εβδομαδιαία πρόβλεψη παρέχει μια ισορροπημένη εικόνα της κατανάλωσης, προσφέροντας στους χρήστες επαρκείς πληροφορίες για να λάβουν αποφάσεις χωρίς να αισθάνονται ότι κατακλύζονται από δεδομένα που αλλάζουν καθημερινά. Επιπλέον, οι εβδομαδιαίες τάσεις μπορούν να είναι πιο αντιπροσωπευτικές της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και των αιχμών, μειώνοντας τη διακύμανση που μπορεί να οφείλεται σε μία μόνο ημέρα.

Διαδικασία Ανάλυσης



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ροής συσχέτισης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία

- Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης και καιρικών συνθηκών:** Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας συλλέγονται από έξυπνους μετρητές, ενώ τα δεδομένα εξωτερικών συνθηκών προέρχονται από περιβαλλοντικούς αισθητήρες, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4. Τα δεδομένα της κατανάλωσης τα μετατρέπουμε σε kWh για να υπολογίσουμε τη συνολική ημερήσια κατανάλωση, ενώ με τα δεδομένα καιρού υπολογίζουμε την ημερήσια μέση εξωτερική θερμοκρασία (°C).
- Προσαρμογή καμπύλης:** Για την ανάλυση, πραγματοποιείται προσαρμογή δύο τύπων καμπύλων:
 - Γραμμική προσαρμογή:** Η κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξάνεται ή να μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας.
 - Εκθετική προσαρμογή:** Σε περιπτώσεις που η κατανάλωση αυξάνεται με εκθετικό τρόπο (ιδίως για μεγάλες αυξήσεις της θερμοκρασίας), χρησιμοποιείται εκθετική καμπύλη.

3. **Υπολογισμός του R^2 (συντελεστής προσδιορισμού):** Το R^2 είναι ένα μέτρο που δείχνει το πόσο καλά μια προσαρμοσμένη καμπύλη ταιριάζει στα δεδομένα. Υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.1)$$

Όπου y_i είναι οι παρατηρούμενες τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης, $\hat{y}_i$ είναι οι προβλεπόμενες τιμές από το μοντέλο και $\bar{y}$ είναι η μέση τιμή των παρατηρούμενων τιμών. Το R^2 παίρνει τιμές από 0 έως 1, με τιμή κοντά στο 1 να υποδεικνύει ότι η καμπύλη ταιριάζει πολύ καλά στα δεδομένα.

4. **Επιλογή βέλτιστης καμπύλης:** Ανάλογα με τις τιμές του R^2 για την εκθετική και τη γραμμική καμπύλη, επιλέγεται η βέλτιστη καμπύλη για πιο ακριβή πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας.
5. **Πρόβλεψη ενεργειακής κατανάλωσης:** Χρησιμοποιώντας την επιλεγμένη καμπύλη, γίνεται πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας για τις θερμοκρασίες της επόμενης εβδομάδας. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, οι προβλεπόμενες θερμοκρασίες είναι: 22, 24, 25, 23, 26, 28 και 27 °C για μια τυχαία εβδομά κατά ημέρες Δευτέρα-Κυριακή, αντίστοιχα.
6. **Ενημέρωση εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης:** Στην πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης, υπάρχει περίπτωση να προκύψουν αρνητικές τιμές ως αποτέλεσμα του μοντέλου προσαρμογής (γραμμικό ή εκθετικό), κάτι που δεν είναι ρεαλιστικό, καθώς η κατανάλωση ενέργειας δεν μπορεί να είναι αρνητική. Αν οι τιμές της προβλεπόμενης κατανάλωσης είναι μηδενικές ή αρνητικές, τότε εμφανίζεται ένα μήνυμα που ενημερώνει ότι η κατανάλωση προβλέπεται να είναι πολύ χαμηλή.
7. **Εξαγωγή συμβουλών:** Με βάση την προβλεπόμενη κατανάλωση για την επόμενη εβδομάδα, εξάγονται εξατομικευμένες συμβουλές προληπτικού τύπου για αποφυγή υψηλών καταναλώσεων ενέργειας.
8. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων γίνεται με διαγράμματα που παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Τα διαγράμματα αυτά περιλαμβάνουν επίσης την προσαρμοσμένη καμπύλη (γραμμική ή εκθετική), η οποία απεικονίζει τη βέλτιστη προσαρμογή των δεδομένων. Στα ίδια διαγράμματα εμφανίζονται και οι προβλεπόμενες τιμές κατανάλωσης ενέργειας για τις επόμενες 7 ημέρες με βάση τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες. Οι προβλεπόμενες τιμές για τις ημέρες της εβδομάδας από Δευτέρα έως Κυριακή εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα, ώστε να διαχωρίζονται σαφώς από τα ιστορικά δεδομένα. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθήσουν την αναμενόμενη κατανάλωση ενέργειας για την επόμενη εβδομάδα και να λάβουν προληπτικές συμβουλές για την αποφυγή αυξημένης κατανάλωσης.

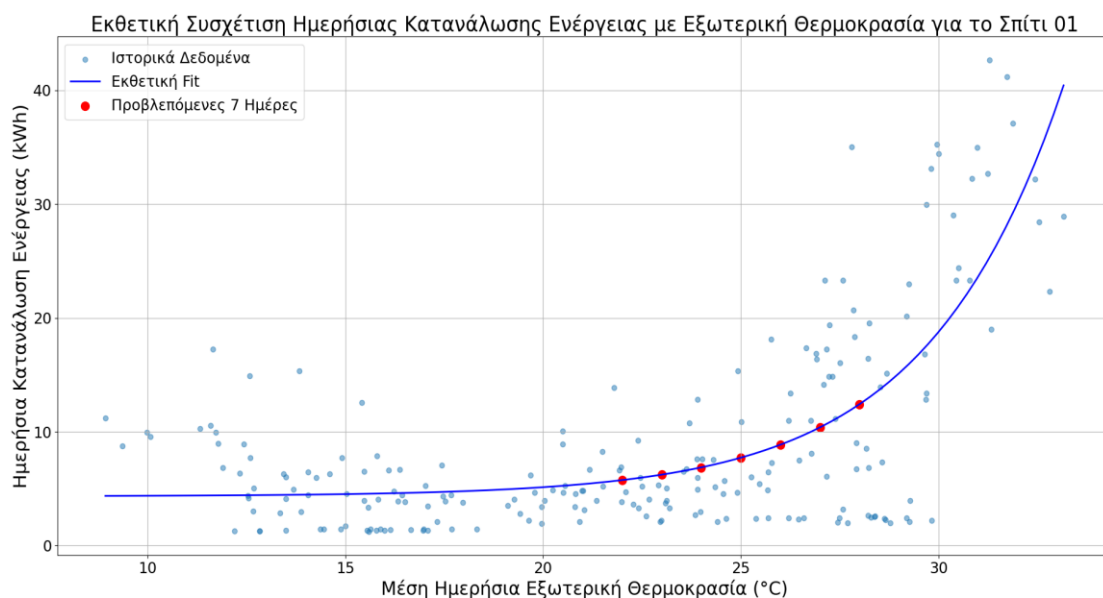
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μετά την ανάλυση της μεθοδολογίας, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα Σπίτια #01 και #04.

Σπίτι #01:

R^2 για εκθετική προσαρμογή: 0.5355

R^2 για γραμμική προσαρμογή: 0.2689



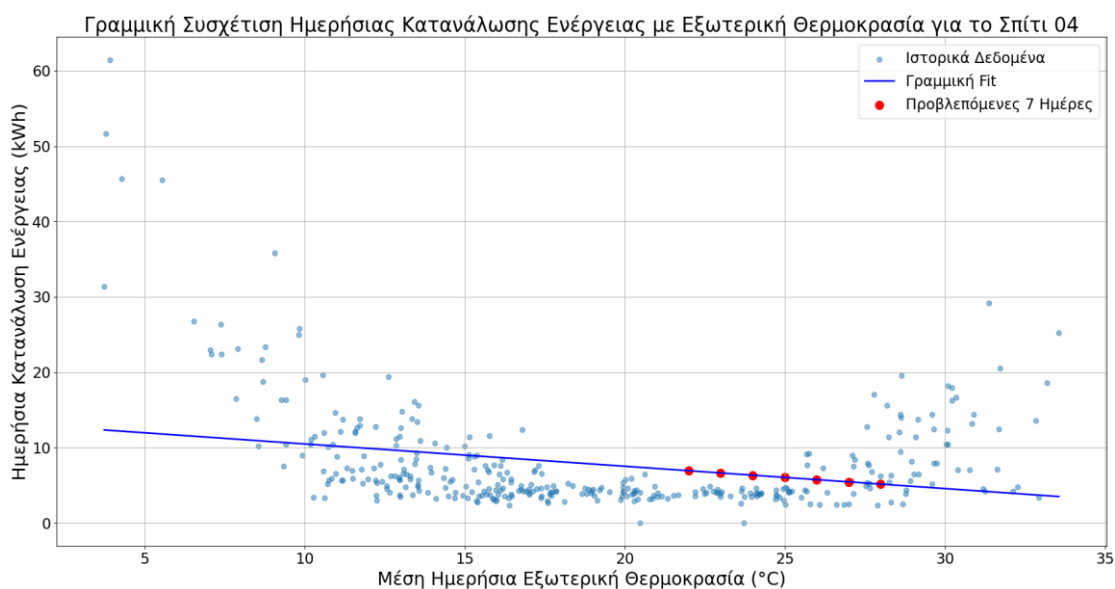
Σχήμα 5.11: Εκθετική συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η κατανάλωσή σας εκτιμάται σε 63.95 kWh για την επόμενη εβδομάδα.»

Σπίτι #04:

R^2 για εκθετική προσαρμογή: 0.0801

R^2 για γραμμική προσαρμογή: 0.0802



Σχήμα 5.12: Γραμμική συσχέτιση ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με εξωτερική θερμοκρασία για το σπίτι #04

Συμβουλή: «Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η κατανάλωσή σας εκτιμάται σε 42.32 kWh για την επόμενη εβδομάδα.»

Η σύγκριση μεταξύ των δύο σπιτιών αποκαλύπτει διαφορετικές αντιδράσεις στην εξωτερική θερμοκρασία όσον αφορά την ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση.

- Για το Σπίτι #01, η κατανάλωση αυξάνεται εκθετικά καθώς η εξωτερική θερμοκρασία αυξάνεται, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε αυξημένη χρήση συστημάτων κλιματισμού. Η προβλεπόμενη κατανάλωση για την επόμενη εβδομάδα φτάνει τα 63.95 kWh, υποδεικνύοντας ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες πιθανόν να προκαλούν σημαντική αύξηση στην κατανάλωση.
- Στο Σπίτι #04 παρατηρείται γραμμική μείωση της κατανάλωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, κάτι που μπορεί να δείχνει ότι η θέρμανση είναι μεγαλύτερος παράγοντας ηλεκτρικής κατανάλωσης, με τη χρήση της να μειώνεται σε θερμότερες ημέρες. Η εκτίμηση κατανάλωσης για την επόμενη εβδομάδα είναι αρκετά χαμηλότερη, στα 42.32 kWh.

5.4.2 Συσχέτιση ημερήσιας αιχμής ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία

Σε αυτή την κατηγορία ανάλυσης, γίνεται πρόβλεψη της μέγιστης ημερήσιας αιχμής ισχύος για την επόμενη εβδομάδα, χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχουν ήδη συλλεχθεί για την ενεργειακή κατανάλωση και την εξωτερική θερμοκρασία αλλά και συγκεκριμένες προβλεπόμενες θερμοκρασίες της επόμενης εβδομάδας. Αντίστοιχα με την προηγούμενη ανάλυση, η συσχέτιση μεταξύ της αιχμής ισχύος και της εξωτερικής θερμοκρασίας αναλύεται μέσω προσαρμογής γραμμικών ή εκθετικών καμπύλων, ανάλογα με το πόσο καλά ταιριάζουν στα δεδομένα, με βάση τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 .

Διαδικασία Ανάλυσης



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα ροής συσχέτισης ημερήσιας αιχμής ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία

1. **Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης και καιρικών συνθηκών:** Με βάση τα δεδομένα της κατανάλωσης γίνεται επαναδειγματοληψία των αιχμών ισχύος σε επίπεδο 15 λεπτών, ενώ με τα δεδομένα καιρού υπολογίζεται η ημερήσια μέση εξωτερική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$).

2. **Προσαρμογή καμπύλης:** Πραγματοποιείται προσαρμογή δύο τύπων καμπύλων για να προσδιοριστεί η σχέση αιχμής-θερμοκρασίας, αντίστοιχα με την ανάλυση της προηγούμενης υποενότητας:
 - **Γραμμική προσαρμογή:** Σε περιπτώσεις όπου η αιχμή ισχύος μειώνεται ή αυξάνεται γραμμικά με την εξωτερική θερμοκρασία, χρησιμοποιείται γραμμική καμπύλη για την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα.
 - **Εκθετική προσαρμογή:** Σε περιπτώσεις όπου η αιχμή ισχύος αυξάνεται με εκθετικό τρόπο, ιδίως σε υψηλότερες θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται εκθετική καμπύλη.
3. **Υπολογισμός του R^2 (συντελεστής προσδιορισμού):** Το R^2 υπολογίζεται για να διαπιστωθεί πόσο καλά ταιριάζει η προσαρμοσμένη καμπύλη στα δεδομένα, όπως και στην προηγούμενη ανάλυση.
4. **Επιλογή βέλτιστης καμπύλης:** Με βάση τις τιμές του R^2 για τις δύο καμπύλες, επιλέγεται η καμπύλη που παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή, ώστε να προβλεφθούν οι αιχμές ισχύος για τις επόμενες ημέρες με βάση τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες.
5. **Πρόβλεψη αιχμής ισχύος:** Χρησιμοποιώντας την επιλεγμένη καμπύλη, γίνεται πρόβλεψη της αιχμής ισχύος για την επόμενη εβδομάδα. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της αιχμής ισχύος στο παράδειγμά μας είναι οι ίδιες με την συσχέτιση της ενεργειακής κατανάλωσης με την εξωτερική θερμοκρασία: 22, 24, 25, 23, 26, 28 και 27 °C για μια τυχαία εβδομά κατά τις ημέρες Δευτέρα-Κυριακή, αντίστοιχα.
6. **Εξαγωγή συμβουλών:** Βάσει της προβλεπόμενης αιχμής ισχύος για την επόμενη εβδομάδα, οι συμβουλές στοχεύουν στην αποφυγή υπερβολικών αιχμών. Στην συγκεκριμένη ανάλυση, υπολογίζεται η μέση αιχμή ισχύος της επόμενης εβδομάδας, και ανάλογα με την εκτίμηση, παρέχονται προληπτικές ειδοποιήσεις για τους χρήστες.
7. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Η οπτικοποίηση παρουσιάζει τη συσχέτιση της ημερήσιας αιχμής ισχύος με την εξωτερική θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας την καλύτερα προσαρμοσμένη καμπύλη (γραμμική ή εκθετική). Η γραφική παράσταση δείχνει επίσης την προσαρμοσμένη καμπύλη για να απεικονίσει την πρόβλεψη αιχμής. Τέλος, εμφανίζονται οι προβλεπόμενες τιμές μέγιστων αιχμών για τις επόμενες 7 ημέρες με βάση τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες. Οι προβλεπόμενες τιμές για τις ημέρες της εβδομάδας από Δευτέρα έως Κυριακή εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα, ώστε να διαχωρίζονται από τα ιστορικά δεδομένα.

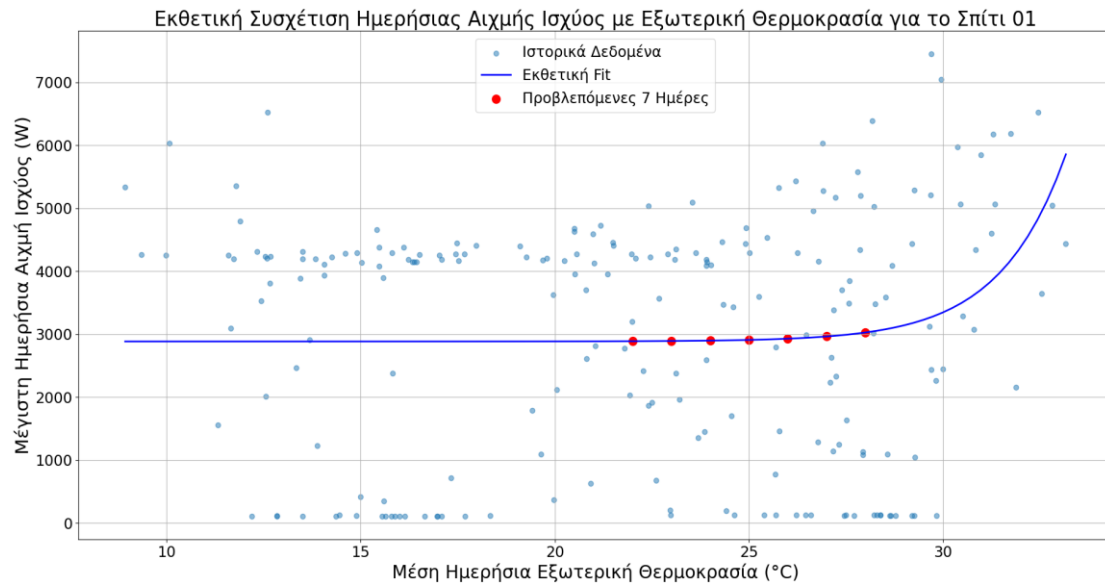
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μετά την ανάλυση της μεθοδολογίας, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα Σπίτια #01 και #03.

Σπίτι #01:

R^2 για εκθετική προσαρμογή: 0.0389

R^2 για γραμμική προσαρμογή: 0.0013



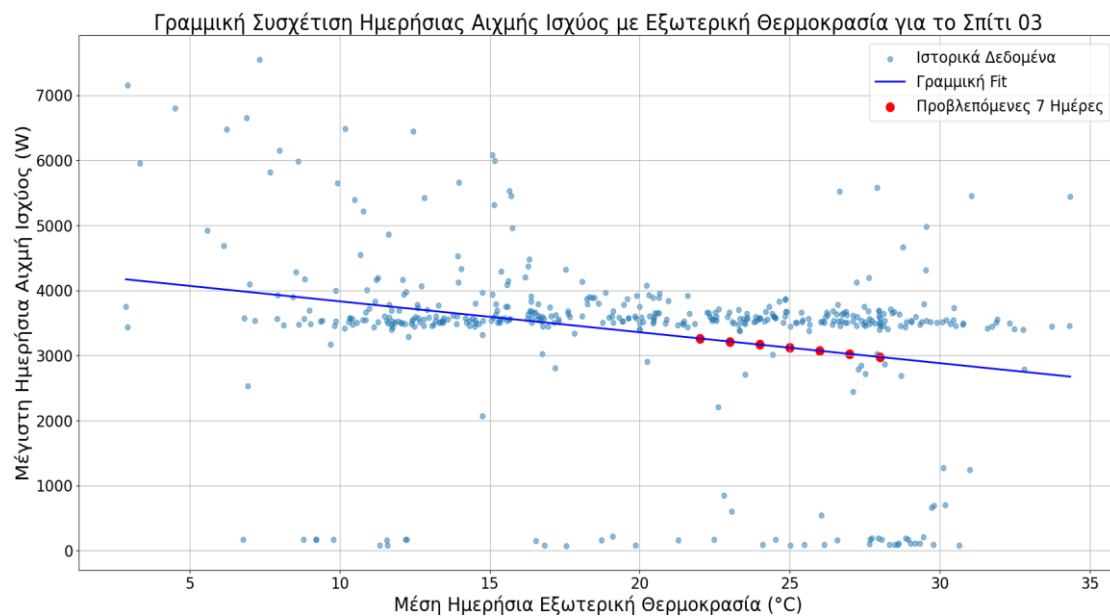
Σχήμα 5.14: Εκθετική συσχέτιση ημερήσιας αιχμής ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος σας για την επόμενη εβδομάδα είναι 2929 W.»

Σπίτι #03:

R^2 για εκθετική προσαρμογή ≈ 0

R^2 για γραμμική προσαρμογή: 0.0725



Σχήμα 5.15: Γραμμική συσχέτιση ημερήσιας αιχμής ισχύος με εξωτερική θερμοκρασία για το σπίτι #03

Συμβουλή: «Βάσει των προβλεπόμενων θερμοκρασιών, η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος σας για την επόμενη εβδομάδα είναι 3118 W.»

Η σύγκριση μεταξύ των δύο σπιτιών αποκαλύπτει διαφορετικές αντιδράσεις στην εξωτερική θερμοκρασία όσον αφορά την ημερήσια αιχμή ισχύος.

- Για το σπίτι #01 παρατηρούμε ότι η αιχμή ισχύος παρουσιάζει εκθετική αύξηση καθώς η εξωτερική θερμοκρασία αυξάνεται. Αυτό υποδεικνύει ότι το Σπίτι 01 πιθανώς χρησιμοποιεί συστήματα κλιματισμού που αυξάνουν την αιχμή ισχύος σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος για την επόμενη εβδομάδα φτάνει τα 2929 W, υποδηλώνοντας την αυξημένη κατανάλωση σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Αντίθετα, το σπίτι #03 δείχνει γραμμική μείωση της αιχμής ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας, κάτι που μπορεί να υποδηλώνει ότι η θέρμανση αποτελεί μεγαλύτερο παράγοντα στην κατανάλωση ενέργειας. Η εκτιμώμενη αιχμή ισχύος για την επόμενη εβδομάδα είναι 3118 W.

5.4.3 Συσχέτιση κατανάλωσης κλιματισμού με εξωτερική θερμοκρασία

Η συγκεκριμένη ανάλυση επικεντρώνεται στην κατανάλωση των κλιματιστικών μονάδων και στη συσχέτιση με τις εξωτερικές και εσωτερικές θερμοκρασίες. Με βάση τα δεδομένα της ανάλυσης, παρέχονται προληπτικού τύπου συμβουλές στους χρήστες για την αποτελεσματικότερη χρήση των κλιματιστικών, αποφεύγοντας περιττή κατανάλωση, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων.

Διαδικασία Ανάλυσης



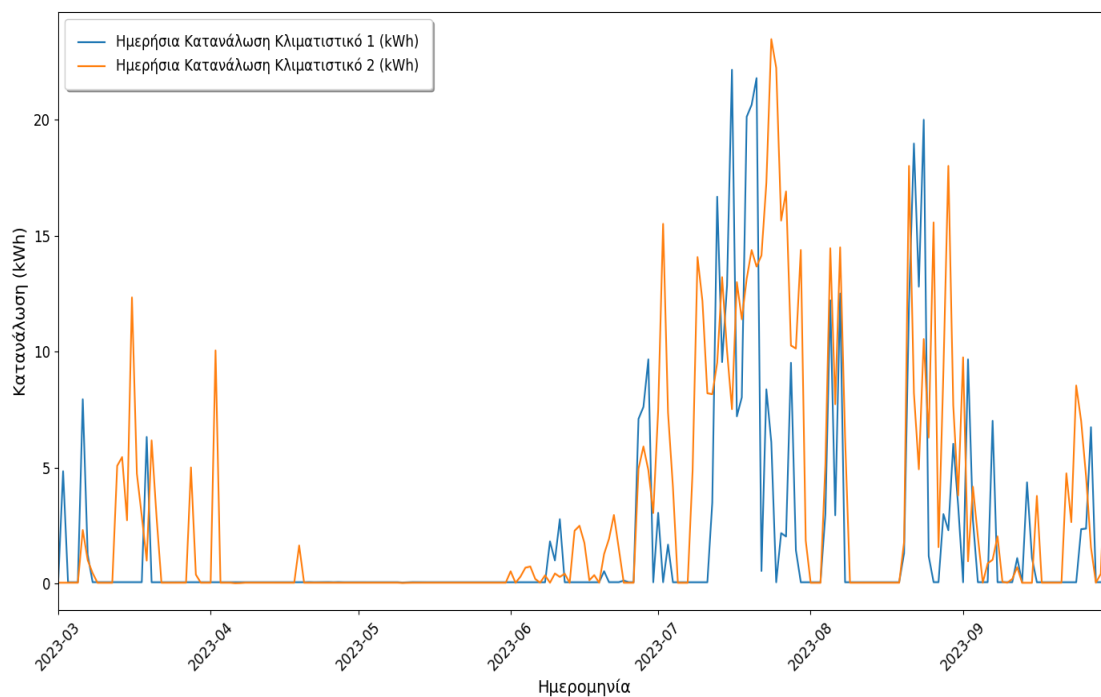
Σχήμα 5.16: Διάγραμμα ροής κατανάλωσης κλιματισμού με εξωτερική θερμοκρασία

1. **Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης και θερμοκρασίας:** Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την κατανάλωση (σε Watts) για τρία κλιματιστικά συστήματα (ac_1, ac_2, ac_3). Παράλληλα, συλλέγονται δεδομένα θερμοκρασίας, τα οποία περιλαμβάνουν την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία (°C) ανά χρονικό διάστημα.

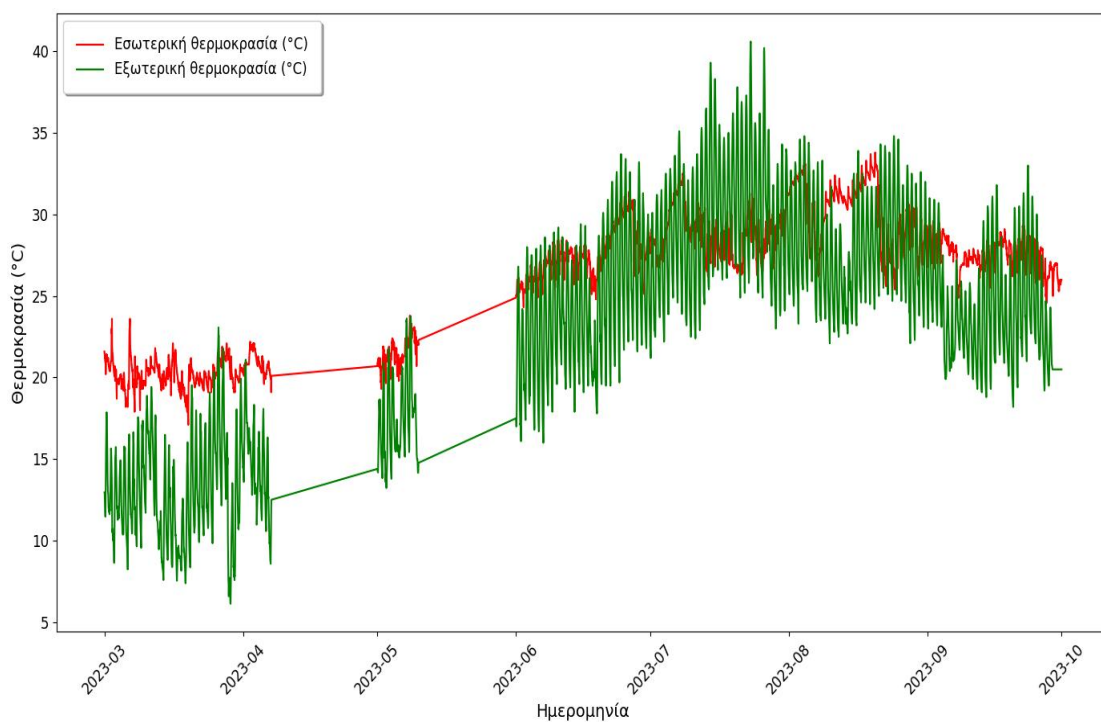
2. **Προετοιμασία δεδομένων:** Αρχικά, πραγματοποιείται επαναδειγματοληψία των δεδομένων ανά 15 λεπτά, ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στα δεδομένα κατανάλωσης και θερμοκρασιών. Τα δεδομένα κατανάλωσης μετατρέπονται από Watts σε kWh. Η ανάλυση γίνεται για κοινές χρονικές περιόδους όπου είναι διαθέσιμα τα δεδομένα κατανάλωσης κλιματιστικών και οι μετρήσεις εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Το χρονικό διάστημα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ορίζεται από την έναρξη και τη λήξη της κοινής χρονικής περιόδου.
3. **Οπτικοποίηση καθημερινής κατανάλωσης κλιματιστικών:** Παρουσιάζονται γραφήματα που απεικονίζουν τη συνολική ημερήσια κατανάλωση κάθε κλιματιστικού συστήματος (ac_1, ac_2, ac_3). Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση της χρήσης των κλιματιστικών σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες.
4. **Οπτικοποίηση εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών:** Δημιουργείται ένα δεύτερο διάγραμμα που παρουσιάζει την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία για κάθε σπίτι, επιτρέποντας τη σύγκριση αυτών των τιμών με τις περιόδους χρήσης του κλιματιστικού. Η γραφική αυτή αναπαράσταση βοηθά στην κατανόηση του κατά πόσο οι θερμοκρασίες επηρέασαν τη χρήση των κλιματιστικών.
5. **Ανίχνευση περιπτώσεων όπου προτείνετε φυσικός αερισμός του χώρου:** Για την εξαγωγή συμβουλών, γίνεται ανάλυση των εξωτερικών συνθηκών, εστιάζοντας σε περιπτώσεις όπου η εξωτερική θερμοκρασία ήταν κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων αντί για χρήση του κλιματιστικού. Ορίζονται ως "κατάλληλες" θερμοκρασίες οι τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ 22 °C και 30 °C. Επιπλέον, για να θεωρηθεί ότι η θερμοκρασία είναι ιδανική για άνοιγμα παραθύρων, η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας πρέπει να είναι μικρότερη από 2 °C.
6. **Ανίχνευση χρήσης κλιματισμού:** Η κατανάλωση των κλιματιστικών μονάδων συγκρίνεται με ένα κατώφλι ισχύος, που προέρχεται από τα μεταδεδομένα των συσκευών, για να εντοπιστούν χρονικές περιόδους κατά τις οποίες το κλιματιστικό ήταν σε λειτουργία. Αν το κλιματιστικό ήταν σε λειτουργία όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν ιδανική για άνοιγμα παραθύρων, καταγράφεται αυτή η περίοδος.
7. **Εξαγωγή συμβουλών:** Με βάση τα παραπάνω, εξάγονται προληπτικές συμβουλές προς τους χρήστες. Σε περίπτωση που εντοπιστούν περιπτώσεις όπου το κλιματιστικό λειτουργούσε ενώ οι εξωτερικές συνθήκες ήταν ιδανικές για αερισμό, δίνεται η συμβουλή να ελαττωθεί η χρήση του κλιματιστικού κατά τέτοιες περιόδους. Εάν δεν εντοπιστούν τέτοιες περιπτώσεις, τότε γίνεται σωστή χρήση των κλιματιστικών μονάδων και δεν είναι απαραίτητη η εξαγωγή κάποιας συμβουλής.

Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Με βάση τα δεδομένα και την παραπάνω ανάλυση, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα σπίτια #01 και #03.

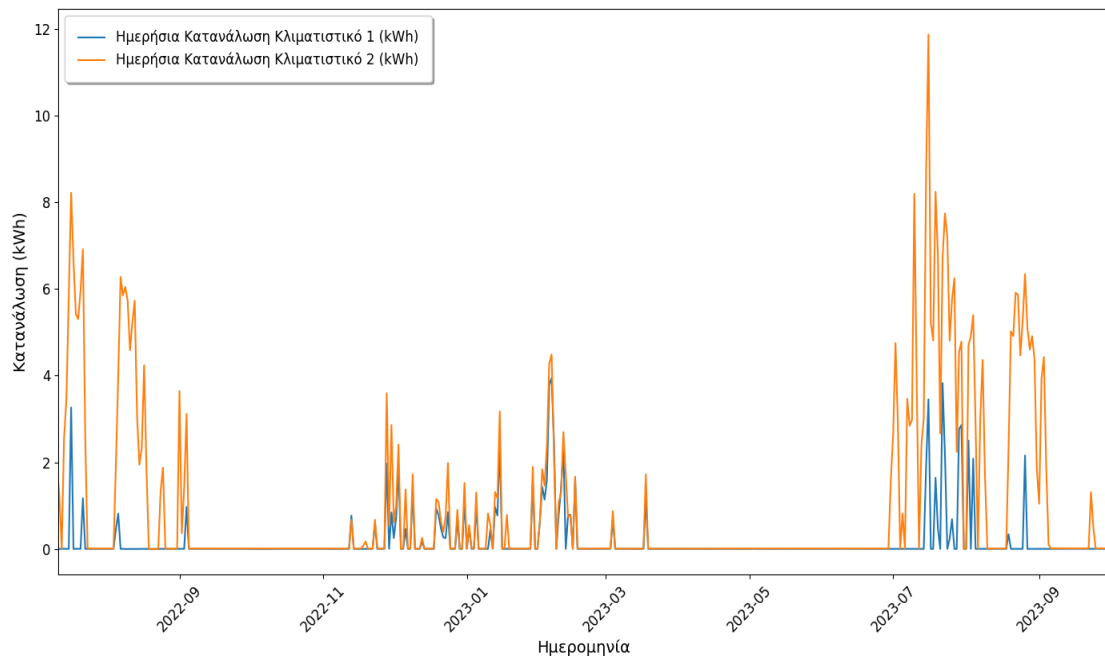


Σχήμα 5.17: Ημερήσια κατανάλωση κλιματιστικών για το σπίτι #01

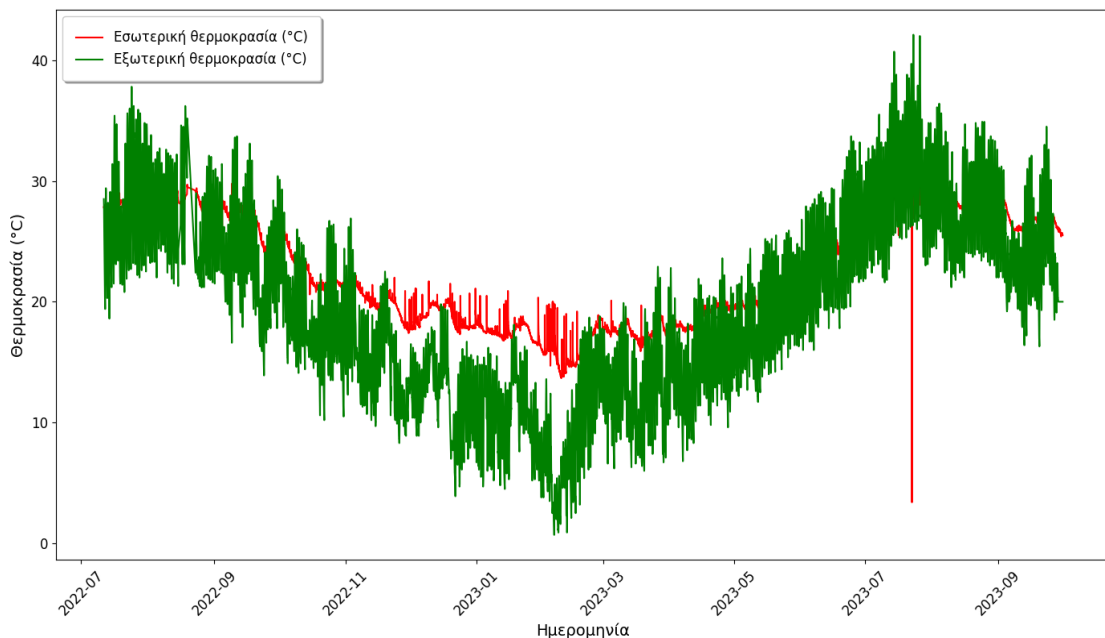


Σχήμα 5.18: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία για το σπίτι #01

Δεν εντοπίστηκαν περιπτώσεις όπου η εξωτερική θερμοκρασία ήταν κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων ενώ το κλιματιστικό ήταν σε λειτουργία. Συνεχίστε έτσι για καλύτερη εξοικονόμηση, δεν εξάγεται κάποια συμβουλή.



Σχήμα 5.19: Ημερήσια κατανάλωση κλιματιστικών για το σπίτι #03



Σχήμα 5.20: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία το σπίτι #03

Συμβουλή: «Φαίνεται ότι ξεχνάτε ανοιχτό το κλιματιστικό όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατάλληλη για άνοιγμα παραθύρων. Είναι μια συνήθεια που είναι καλό να ελαττωθεί για καλύτερη εξοικονόμηση.»

- Το Σπίτι #01 παρουσιάζει καλύτερη διαχείριση της χρήσης κλιματιστικών, καθώς δεν εντοπίζονται περιπτώσεις όπου θα μπορούσε να γίνει εξοικονόμηση μέσω ανοίγματος παραθύρων.
- Το Σπίτι #03, αντίθετα, δείχνει περιπτώσεις όπου τα κλιματιστικά λειτουργούν άσκοπα, υποδηλώνοντας μια συνήθεια που μπορεί να βελτιωθεί.

Οι συνθήκες εξωτερικής θερμοκρασίας ήταν παρόμοιες για τα δύο σπίτια, γεγονός που καθιστά τη σύγκριση των δύο οικιακών καταναλωτών πιο άμεση. Το Σπίτι 03 έχει μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης σε σχέση με τη χρήση φυσικού αερισμού αντί για μηχανικό κλιματισμό.

5.5 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ενότητα αυτή επικεντρώνεται στην ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης οικιακών συσκευών και την αποτίμηση της ενεργειακής τους αποδοτικότητας. Ο στόχος είναι να μελετηθεί η ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας από κάθε συσκευή, να αποσυντεθεί η κατανάλωση ενέργειας και να αναγνωριστούν οι πιο ενεργοβόρες συσκευές, με στόχο την εξαγωγή ενεργειακών συμβουλών για τη βελτιστοποίηση της χρήσης τους. Η αποσύνθεση της κατανάλωσης επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των πρότυπων χρήσης των συσκευών, εντοπίζοντας τις περιόδους με υψηλότερη κατανάλωση και προσδιορίζοντας ενδεχόμενες ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας.

5.5.1 Ανάλυση κατανάλωσης/χρήσης συσκευών

Η κατηγορία συμβουλών που αφορά την ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή προσφέρει μια άμεση εικόνα της ενεργειακής αποδοτικότητας των οικιακών συσκευών. Οι συμβουλές αυτές εστιάζουν στη συσκευή με τη μεγαλύτερη κατανάλωση σε ημερήσια βάση και προτρέπουν τον χρήστη να μειώσει τη χρήση της ή να εντοπίσει αν κάποια συσκευή λειτουργεί χωρίς να είναι απαραίτητο (π.χ., όταν το κλιματιστικό παραμένει ανοιχτό για μεγάλο χρονικό διάστημα).

Διαδικασία Ανάλυσης

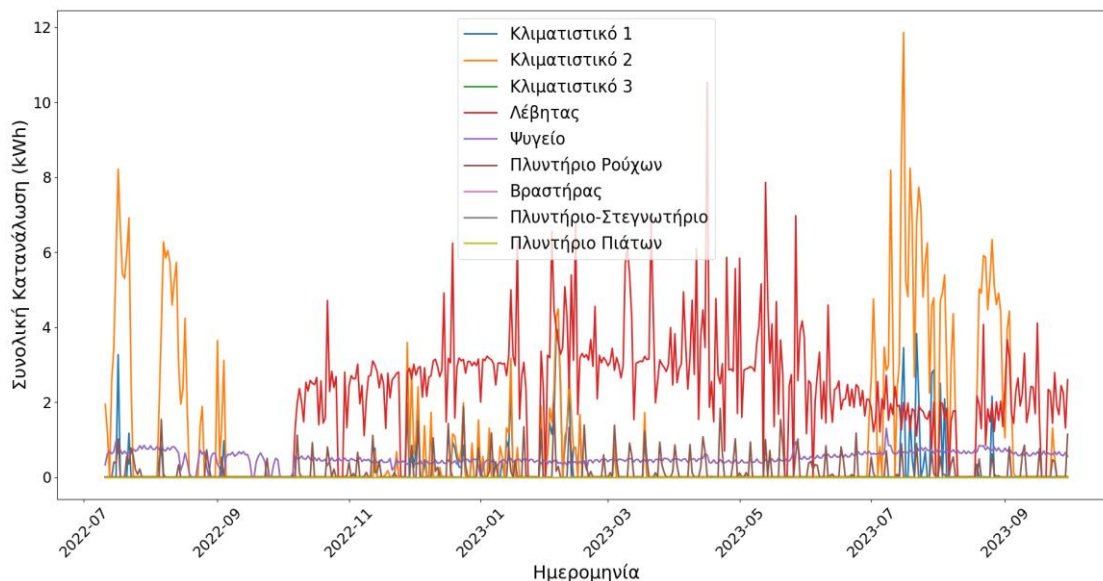


Σχήμα 5.21: Διάγραμμα ροής ανάλυσης/κατανάλωσης χρήσης συσκευών

1. **Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης:** Η ανάλυση ξεκινά με τη συλλογή δεδομένων κατανάλωσης από κάθε συσκευή. Τα δεδομένα κατανάλωσης από κάθε συσκευή μετατρέπονται σε kWh, με βάση τον τύπο της συσκευής και τον χρόνο λειτουργίας της.
2. **Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης:** Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η σύνοψη της ημερήσιας κατανάλωσης για κάθε συσκευή, έτσι ώστε να προκύψει η συνολική κατανάλωση ενέργειας που καταναλώνεται σε ημερήσια βάση.
3. **Εντοπισμός συσκευής με τη μεγαλύτερη κατανάλωση:** Ο αλγόριθμος αναζητά τη συσκευή με τη μεγαλύτερη ημερήσια κατανάλωση. Αν αυτή η κατανάλωση ξεπερνά τα 6 kWh, τότε παρέχεται μια σύσταση προς τον χρήστη για να ελέγξει τη χρήση της, σε άλλη περίπτωση δεν κρίνεται αναγκαία η παροχή σύστασης.
4. **Υπολογισμός χρόνου λειτουργίας:** Για τη συσκευή με την υψηλότερη κατανάλωση, ο υπολογισμός του χρόνου λειτουργίας πραγματοποιείται συγκρίνοντας τη διάρκεια που η συσκευή καταγράφει κατανάλωση πάνω από το όριο ισχύος (threshold) που αναφέρεται στα μεταδεδομένα της. Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας προκύπτει σε ώρες και λεπτά.
5. **Παροχή συμβουλών:** Σε περίπτωση που μια συσκευή λειτουργεί συνεχόμενα για πάνω από 24 ώρες, όπως τα κλιματιστικά, παρέχεται επιπλέον σύσταση για την αποφυγή συνεχούς λειτουργίας. Αυτή η συμβουλή, αποτελεί μια συμβουλή πραγματικού χρόνου. Γενικότερα, οι συμβουλές δίνονται με βάση τα δεδομένα της τελευταίας ημέρας, όπου εντοπίζεται η ενεργειακά πιο απαιτητική συσκευή και ο χρόνος λειτουργίας της.
6. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Δημιουργείται διάγραμμα που παρουσιάζει την ημερήσια κατανάλωση για κάθε συσκευή, παρέχοντας μια σαφή εικόνα στον χρήστη για τις ενεργειακές συνήθειες του νοικοκυριού και επισημαίνοντας τις συσκευές που ευθύνονται για την υψηλότερη κατανάλωση.

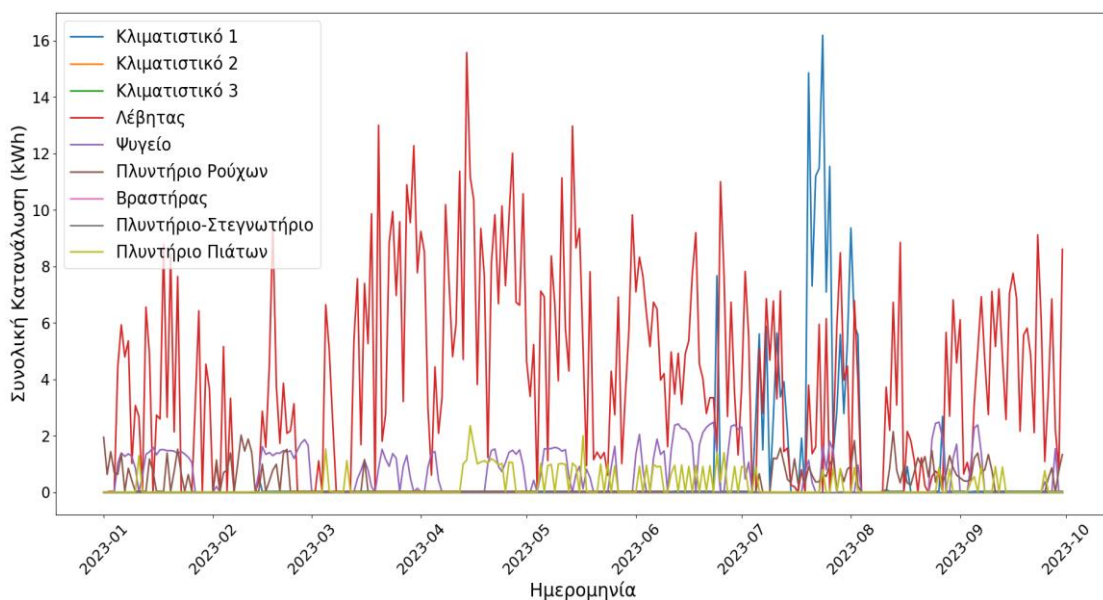
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μετά την ανάλυση της μεθοδολογίας, ακολουθεί η εφαρμογή της για τα Σπίτια #03 και #05.



Σχήμα 5.22: Ημερήσια συνολική κατανάλωση ανά συσκευή για το σπίτι #03

Η συσκευή με την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας την τελευταία ημέρα, είχε κατανάλωση κάτω από 8kWh, στην προκειμένη περίπτωση δεν χρειάζεται να δοθεί κάποια συμβουλή στον χρήστη.



Σχήμα 5.23: Ημερήσια συνολική κατανάλωση ανά συσκευή για το σπίτι #05

Συμβουλή: «Την τελευταία ημέρα, η συσκευή με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ήταν ο λέβητας θέρμανσης. Η κατανάλωση του ήταν 8.60 kWh και ήταν σε λειτουργία για 2 ώρες και 38 λεπτά.»

- Για το Σπίτι #03, η συσκευή με την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας δεν ξεπέρασε τα 8 kWh, γεγονός που σημαίνει ότι δεν ήταν απαραίτητο να παρασχεθεί κάποια συμβουλή στον χρήστη. Αυτό υποδεικνύει ότι η κατανάλωση ήταν σε λογικά επίπεδα, χωρίς περιττή χρήση της συσκευής.
- Αντιθέτως, για το Σπίτι #05, η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας προήλθε από τον λέβητα, ο οποίος κατανάλωσε 8.60 kWh και ήταν σε λειτουργία για 2 ώρες και 38 λεπτά. Σε αυτή την περίπτωση, η παροχή συμβουλής ήταν απαραίτητη για την ενημέρωση του χρήστη σχετικά με τη συγκεκριμένη κατανάλωση, προτρέποντας τον να εξετάσει πιθανές βελτιώσεις στη χρήση της συσκευής.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας επιβεβαιώνει τη σημασία της παρακολούθησης της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά συσκευή, καθώς και τη χρήση μεταδεδομένων για την καλύτερη κατανόηση του χρόνου λειτουργίας των συσκευών.

5.5.2 Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας

Για την υποενότητα που αφορά την αποσύνθεση της κατανάλωσης ενέργειας, ο στόχος είναι να προσδιοριστεί ποια συσκευή καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας μέσα σε ένα σπίτι και να δωθούν σχετικές συμβουλές για την εξοικονόμηση ενέργειας. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη σύγκριση της κατανάλωσης του συγκεκριμένου σπιτιού με άλλες κατοικίες για τον ίδιο μήνα και τη χρήση κοινωνικοδημογραφικών δεδομένων, όπως το έτος κατασκευής και πιθανές ανακαινίσεις.

Διαδικασία Ανάλυσης



Σχήμα 5.24: Διάγραμμα ροής αποσύνθεσης κατανάλωσης ενέργειας

1. Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας:

- Από τα διαθέσιμα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε σπίτι, φορτώνονται τα δεδομένα των ηλεκτρικών συσκευών (π.χ. κλιματιστικά, θερμοσίφωνες, ψυγεία) μαζί με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας (P_{agg}).
- Για κάθε συσκευή, οι τιμές ισχύος σε Watt που έχουν συλλεχθεί ανά 10 δευτερόλεπτα μετατρέπονται σε kWh για να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση.

2. Φόρτωση κοινωνικοδημογραφικών δεδομένων:

Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου και τις ανακαινίσεις που μπορεί να έχουν γίνει, ελέγχεται το έτος κατασκευής και αν έχει γίνει ανακαίνιση ή όχι. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουμε τις συμβουλές που παρέχονται για την ενεργειακή αποδοτικότητα.

3. Ανάλυση κατανάλωσης συσκευών:

- Η συνολική κατανάλωση κάθε συσκευής υπολογίζεται ξεχωριστά
- Οι κλιματιστικές μονάδες (ac_1, ac_2, ac_3) συνδυάζονται σε μια κατηγορία με την ονομασία "Κλιματιστικά" (AC), και η υπόλοιπη κατανάλωση που δεν αντιστοιχεί σε κάποια από τις επιμέρους συσκευές κατηγοριοποιείται ως "Άλλες Συσκευές".

4. Σύγκριση με άλλα σπίτια:

- Για να γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση, τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας συγκρίνονται με την μέση τιμή κατανάλωσης ενέργειας άλλων σπιτιών για τον ίδιο μήνα.
- Υπολογίζεται η μέση κατανάλωση κάθε συσκευής για τα σπίτια με διαθέσιμα δεδομένα για τον ίδιο μήνα και γίνεται σύγκριση με το επιλεγμένο σπίτι.

5. Εξαγωγή συμβουλών:

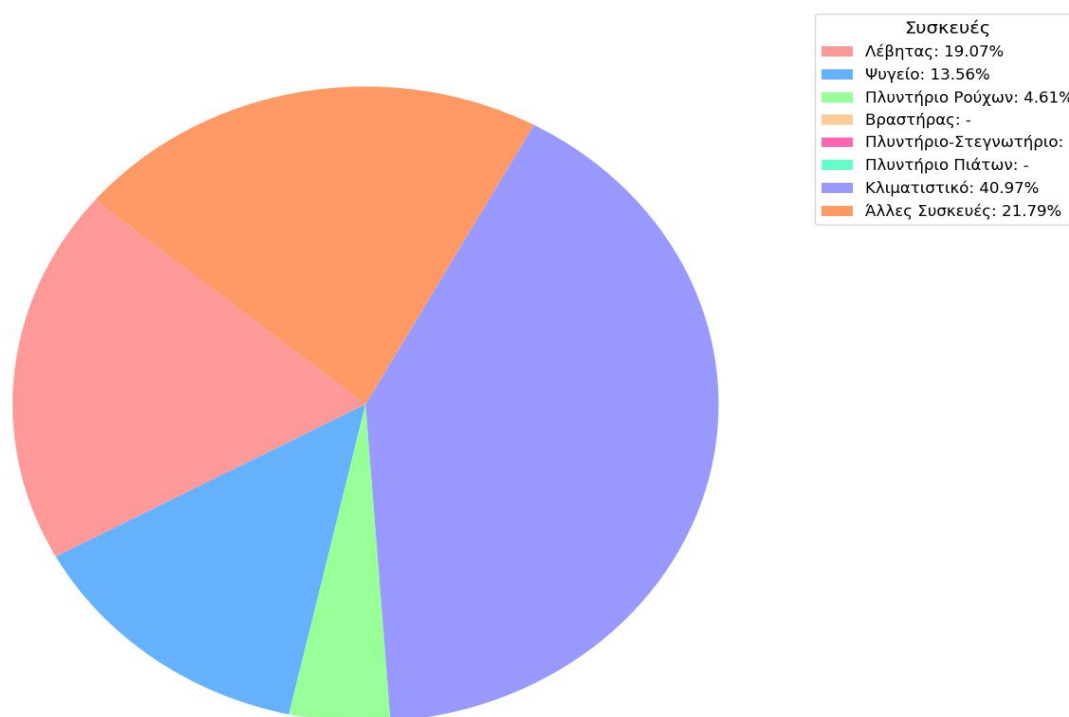
- Ανάλογα με την κατανάλωση των συσκευών του σπιτιού και τη σύγκρισή τους με τις μέσες τιμές άλλων σπιτιών, παράγεται συμβουλή για την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Αν, για παράδειγμα, η κατανάλωση των κλιματιστικών είναι υψηλότερη από τον μέσο όρο και το κτίριο είναι παλιό, μπορεί να προταθεί έλεγχος της θερμομόνωσης του σπιτιού.
- Αντίστοιχα, αν η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από τον μέσο όρο, δίνεται ανατροφοδότηση στον χρήστη για καλή ενεργειακή απόδοση.

6. Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται μέσω ενός διαγράμματος πίτας, το οποίο εμφανίζει την κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ανά συσκευή.

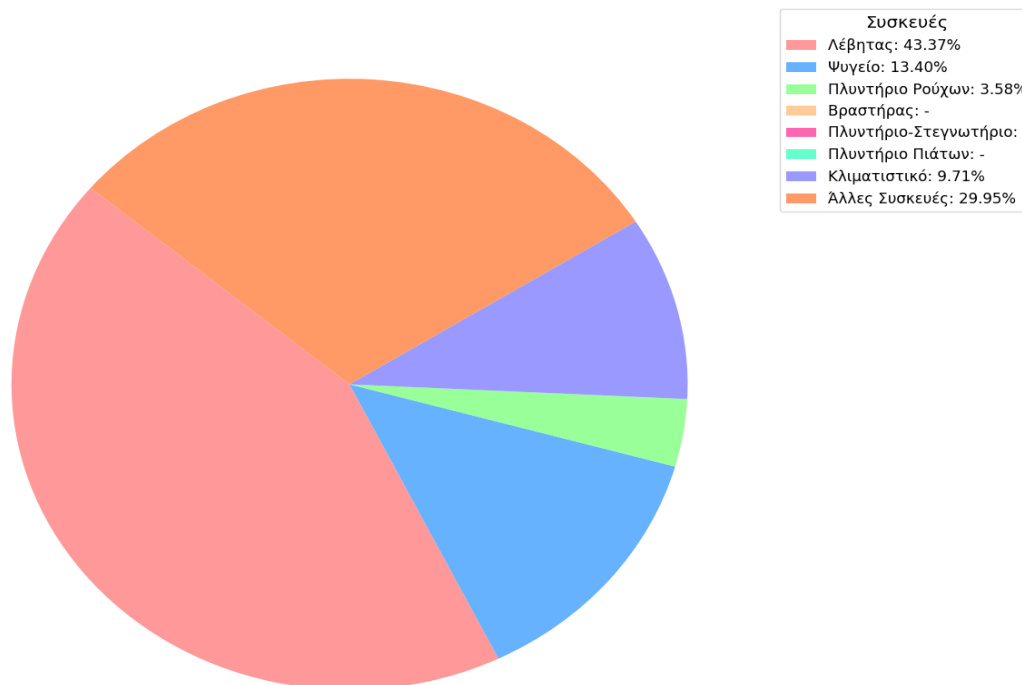
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας για τα Σπίτια #03 και #05.



Σχήμα 5.25: Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Τον τελευταίο μήνα, τα κλιματιστικά καταναλώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας. Η κατανάλωσή τους είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών για τον ίδιο μήνα (17.56 kWh). Το κτίριο κατασκευάστηκε πριν το 1990 και δεν έχει ανακαινιστεί. Σκεφτείτε να ελέγξετε την θερμομόνωση του σπιτιού για καλύτερη ενεργειακή απόδοση.»



Σχήμα 5.26: Αποσύνθεση κατανάλωσης ενέργειας για το σπίτι #03

Συμβουλή: «Τον τελευταίο μήνα, ο λέβητας θέρμανσης καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας και η κατανάλωση του είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών (40.59 kWh).»

Σπίτι #01:

- **Κλιματιστικό (AC):** Το κλιματιστικό καταναλώνει το 40.97% της συνολικής ενέργειας, κάτι που το καθιστά την πιο ενεργοβόρα συσκευή για τον συγκεκριμένο μήνα.
- **Σύγκριση με τον μέσο όρο:** Η κατανάλωση του κλιματιστικού είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών, ο οποίος ανέρχεται σε 17.56 kWh. Αυτό δείχνει ότι τα κλιματιστικά σε αυτή την κατοικία λειτουργούν περισσότερο ή καταναλώνουν περισσότερο συγκριτικά με άλλες κατοικίες.
- **Συμβουλή:** Δεδομένου ότι το σπίτι έχει κατασκευαστεί πριν από το 1990 και δεν έχει ανακαινιστεί, προτείνεται να ελεγχθεί η θερμομόνωση για καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει την ανάγκη για τη χρήση του κλιματιστικού και να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού.

Σπίτι #03:

- **Λέβητας :** Ο λέβητας καταναλώνει το 43.37% της συνολικής ενέργειας και αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή κατανάλωσης.

- **Σύγκριση με τον μέσο όρο:** Η κατανάλωση του λέβητα είναι πάνω από τον μέσο όρο των άλλων κατοικιών, που είναι 40.59 kWh. Αυτό δείχνει υπερβολική χρήση του λέβητα σε σχέση με άλλες κατοικίες.
- **Συμβουλή:** Η αυξημένη κατανάλωση του λέβητα μπορεί να προέρχεται από συχνή χρήση ή μη αποδοτική ρύθμιση της θερμοκρασίας. Προτείνεται η βελτιστοποίηση της χρήσης του λέβητα, όπως μείωση της θερμοκρασίας ή περιορισμός της χρήσης του.

Αυτή η ανάλυση αποδεικνύει πώς η αποσύνθεση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να προσφέρει στοχευμένες συμβουλές προληπτικού τύπου για την ενεργειακή αποδοτικότητα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις τεχνικές παραμέτρους των κατοικιών όσο και τις συνήθειες των χρηστών.

5.6 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ενώ η προηγούμενη ανάλυση επικεντρώθηκε κυρίως στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της βελτιστοποίησης της κατανάλωσης και της μείωσης της χρήσης ενεργοβόρων συσκευών, η εξοικονόμηση δεν περιορίζεται μόνο σε αυτόν τον τομέα. Η ενεργειακή απόδοση μπορεί επίσης να συνδυαστεί με στρατηγικές που στοχεύουν στη μείωση του κόστους για τον οικιακό χρήστη.

Σε αυτή την ενότητα, η έμφαση μετατοπίζεται από την καθαρή εξοικονόμηση ενέργειας προς τη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας, μέσω της έξυπνης διαχείρισης των ενεργειακών πόρων. Οι χρήστες μπορούν να επιτύχουν σημαντική μείωση του κόστους, ακόμα κι αν η συνολική κατανάλωση ενέργειας παραμένει αμετάβλητη, μεταφέροντας τη χρήση συσκευών σε χρονικά διαστήματα όπου οι τιμές της ενέργειας είναι χαμηλότερες και αποφεύγοντας τις ώρες αιχμής.

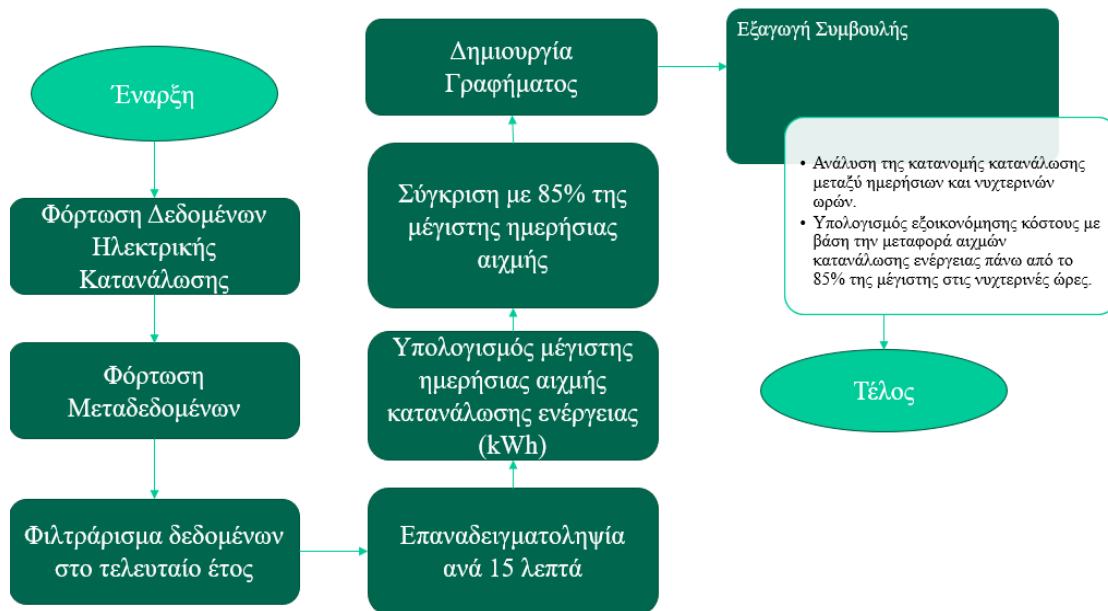
Στις επόμενες υποενότητες θα αναλυθεί πώς η μεταφορά αιχμών ζήτησης και η χρονική κατανομή των αιχμών μπορούν να αξιοποιηθούν ως εργαλεία για την εξοικονόμηση κόστους, συμβάλλοντας στη συνολική βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης.

5.6.1 Εξοικονόμηση κόστους με μεταφορά αιχμών ζήτησης

Σε αυτή την υποενότητα, η έμφαση δίνεται στην εξοικονόμηση κόστους μέσω της μεταφοράς αιχμών ζήτησης ενέργειας. Η μεταφορά αυτών των αιχμών σε νυχτερινές ώρες, όπου οι τιμές ενέργειας είναι χαμηλότερες, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους, ακόμη κι αν η συνολική κατανάλωση ενέργειας παραμένει σταθερή.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την ανάλυση αυτή, περιλαμβάνει τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας των κλιματιστικών, την ταυτοποίηση των περιόδων αιχμής, και τον υπολογισμό του πιθανού κόστους εξοικονόμησης εάν οι αιχμές μεταφέρονται σε νυχτερινές ώρες.

Διαδικασία Ανάλυσης

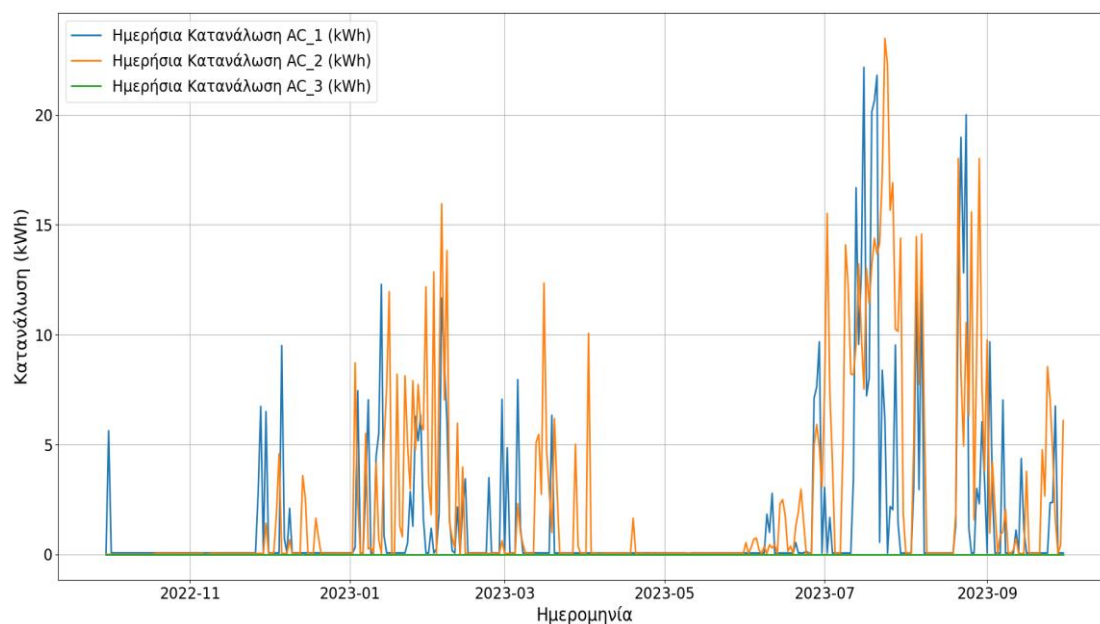


Σχήμα 5.27: Διάγραμμα ροής εξοικονόμησης κόστους με μεταφορά αιχμών ζήτησης

1. **Φόρτωση των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης:** Τα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε κλιματιστικό (ac_1, ac_2, ac_3) φορτώνονται και φιλτράρονται με βάση τη χρονική περίοδο. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας ανά 15 λεπτά, και στη συνέχεια η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας.
2. **Ανάλυση κατανάλωσης κλιματιστικών:** Η συνολική κατανάλωση των κλιματιστικών υπολογίζεται σε kWh για χρονικό διάστημα ενός έτους, και δημιουργείται ένα διάγραμμα της ημερήσιας κατανάλωσης των κλιματιστικών μονάδων, το οποίο παρέχει μια οπτική αναπαράσταση των αιχμών ζήτησης, μόνο για σπίτια για τα οποία έχουμε δεδομένα κατανάλωσης με διάρκεια μεγαλύτερη ή ίση με ένα έτος.
3. **Υπολογισμός κόστους με βάση τα τιμολόγια ΔΕΗ:** Χρησιμοποιούνται τιμές από το τιμολόγιο της ΔΕΗ για την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Ειδικότερα, οι τιμές έχουν ως εξής:
 - Χρέωση ημέρας κάτω από 500 kWh: 0.13557 €/kWh.
 - Χρέωση ημέρας πάνω από 500 kWh: 0.14385 €/kWh.
 - Χρέωση νύχτας: 0.11418 €/kWh.
4. **Υπολογισμός αιχμών ζήτησης:** Υπολογίζεται η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση για τα κλιματιστικά και καθορίζεται ένα όριο αιχμής που αντιστοιχεί στο 85% της μέγιστης κατανάλωσης. Οι περίοδοι αιχμής που υπερβαίνουν το όριο αυτό είναι και αυτές που θα μεταφερθούν.
5. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας των κλιματιστικών για το τελευταίο έτος κατανάλωσης οπτικοποιείται μέσω γραφημάτων.
6. **Μεταφορά αιχμών και υπολογισμός εξοικονόμησης:** Οι αιχμές ζήτησης μεταφέρονται θεωρητικά στις νυχτερινές ώρες, και υπολογίζεται το συνολικό κόστος αν η κατανάλωση γινόταν κατά τη νύχτα. Η εξοικονόμηση προκύπτει από τη διαφορά του κόστους της πραγματικής κατανάλωσης και της υποθετικής κατανάλωσης με μεταφορά αιχμών.
7. **Εξαγωγή συμβουλών:** Η συγκεκριμένη συμβουλή αφορά την συνολική εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί από τη μεταφορά των αιχμών κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες, εκφρασμένο σε ευρώ (€).

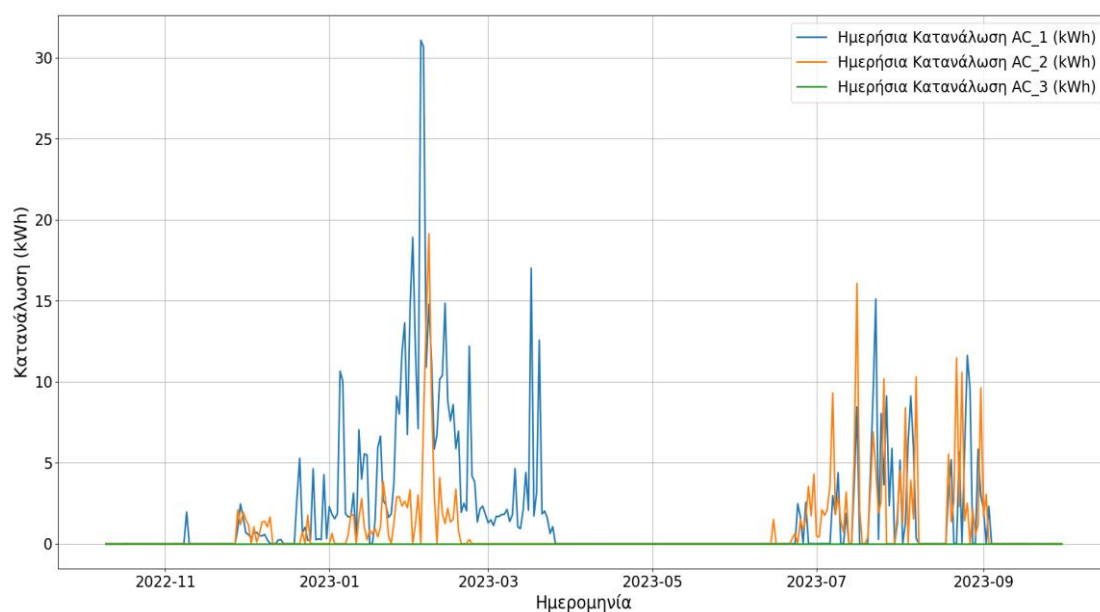
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας για τα Σπίτια #01 και #04.



Σχήμα 5.28: Ημερήσια κατανάλωση κλιματιστικών για το σπίτι #01 από 30-09-2022 έως 30-09-2023

Συμβουλή: «Σύμφωνα με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους, εάν μεταφέρετε τις αιχμές κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες, θα εξοικονομήσετε συνολικά : 33.65 €»



Σχήμα 5.29: Ημερήσια κατανάλωση κλιματιστικών για το σπίτι #04 από 30-09-2022 έως 30-09-2023

Συμβουλή: «Σύμφωνα με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους, εάν μεταφέρετε τις αιχμές κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες, θα εξοικονομήσετε συνολικά : 29.40 €»

Σπίτι #01:

Η κατανάλωση ενέργειας από τα κλιματιστικά είναι υψηλότερη, με περισσότερες αιχμές στη διάρκεια της ημέρας. Αυτό προσφέρει μεγαλύτερη δυνατότητα εξοικονόμησης κόστους μέσω της μεταφοράς της κατανάλωσης στις νυχτερινές ώρες.

Σπίτι #04:

Οι αιχμές κατανάλωσης είναι λιγότερες και μικρότερης διάρκειας, προσφέροντας μικρότερη δυναμική εξοικονόμησης σε σύγκριση με το Σπίτι #01. Παρόλα αυτά, η ανάλυση δείχνει ότι ακόμα και σε σπίτια με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, υπάρχει χώρος για βελτιστοποίηση κόστους μέσω καλύτερης χρονικής διαχείρισης της ενέργειας.

Συνολικά, αυτή η ανάλυση δείχνει τη σημασία της παρακολούθησης της χρονικής κατανομής της κατανάλωσης ενέργειας για την εξοικονόμηση κόστους. Ακόμα και αν τα δύο σπίτια παρουσιάζουν διαφορετικά μοτίβα κατανάλωσης, και τα δύο μπορούν να επωφεληθούν από τη μεταφορά της κατανάλωσης εκτός των ωρών αιχμής, με το Σπίτι #01 να έχει τη μεγαλύτερη δυναμική εξοικονόμησης.

5.6.2 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε χρονικές ζώνες

Σε αυτή την υποενότητα, θα αναλύσουμε πώς κατανέμεται η κατανάλωση ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές ζώνες της ημέρας για διάφορους οικιακούς καταναλωτές. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή στρατηγικών που μπορούν να μειώσουν τις αιχμές κατανάλωσης κατά τις ακριβές ώρες της ημέρας και να προτείνουν καλύτερη διαχείριση της ενέργειας σε ώρες χαμηλότερης τιμής.

Διαδικασία Ανάλυσης



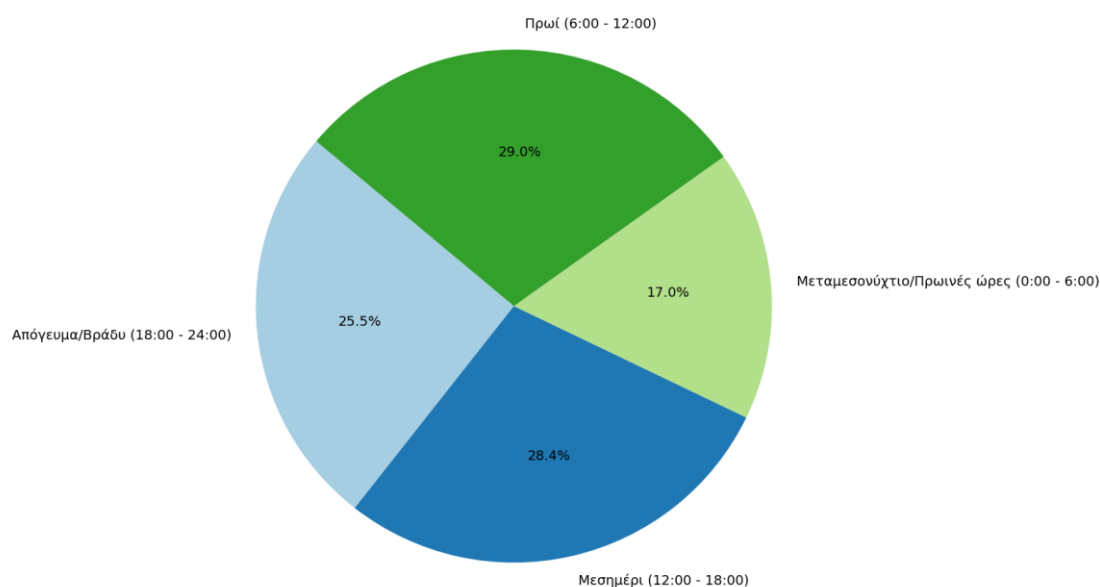
Σχήμα 5.30: Διάγραμμα ροής ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας σε χρονικές ζώνες

1. **Φόρτωση των δεδομένων κατανάλωσης:** Αρχικά, φορτώνονται τα δεδομένα κατανάλωσης για το συγκεκριμένο σπίτι από τον φάκελο των δεδομένων. Στη συνέχεια, γίνεται μετατροπή της κατανάλωσης από Watt σε kWh χρησιμοποιώντας τη

- φόρμουλα που υπολογίζει τη συνολική ενέργεια για κάθε χρονικό διάστημα 10 δευτερολέπτων.
2. **Κατηγοριοποίηση χρονικών ζωνών:** Προστίθεται μια νέα στήλη στα δεδομένα που καθορίζει την ώρα της ημέρας και κατηγοριοποιεί τα δεδομένα σε τέσσερις βασικές χρονικές ζώνες:
 - Πρωί (6:00 - 12:00)
 - Μεσημέρι (12:00 - 18:00)
 - Απόγευμα/Βράδυ (18:00 - 24:00)
 - Μεταμεσονύχτιο/Πρωινές ώρες (0:00 - 6:00)
 3. **Υπολογισμός συνολικής κατανάλωσης για κάθε ζώνη:** Η συνολική ενέργεια (σε kWh) που καταναλώθηκε σε κάθε χρονική ζώνη υπολογίζεται και συγκρίνεται, ώστε να αναγνωριστούν οι ώρες αιχμής για την κατανάλωση.
 4. **Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων:** Η κατανομή της ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές ζώνες απεικονίζεται σε διάγραμμα πίτας, όπου κάθε τμήμα αναπαριστά το ποσοστό της κατανάλωσης που αντιστοιχεί σε κάθε χρονική ζώνη. Έτσι γίνεται φανερή η περίοδος με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.
 5. **Εξαγωγή συμβουλών:** Με βάση τα ποσοστά κατανάλωσης, δημιουργούνται συμβουλές για το πώς μπορεί να μεταφερθεί η κατανάλωση σε φθηνότερες χρονικές ζώνες, σύμφωνα με το Γ1Ν τιμολόγιο της ΔΕΗ ή να αξιοποιηθούν καλύτερα οι ώρες χαμηλότερης τιμής (π.χ., με τη χρήση φωτοβολταϊκών ή τον προγραμματισμό ενεργοβόρων δραστηριοτήτων σε νυχτερινές ώρες).

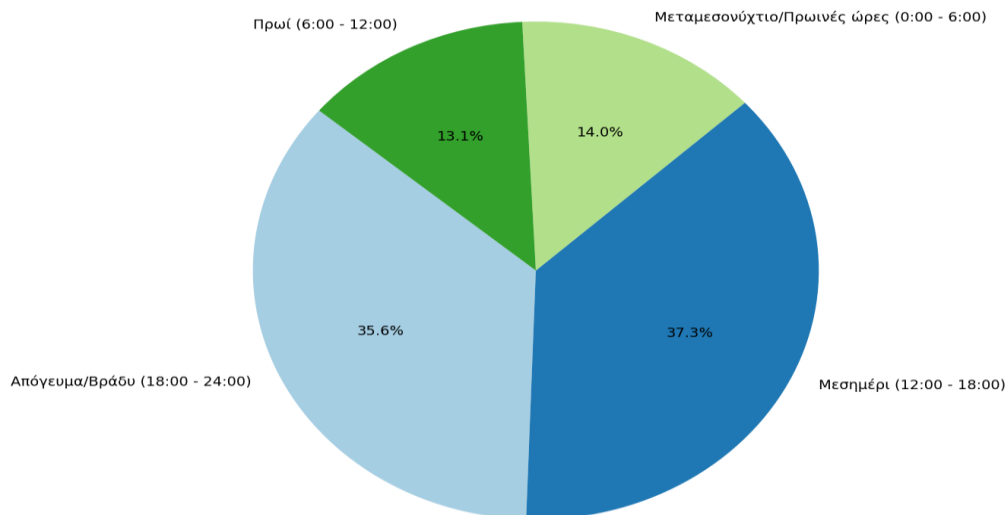
Εφαρμογή της μεθοδολογίας

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας για τα Σπίτια 01 και 03



Σχήμα 5.31: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας (kWh) σε χρονικές ζώνες για το σπίτι #01

Συμβουλή: «Το υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας εμφανίζεται το πρωί. Προγραμματίστε τις ενεργοβόρες δραστηριότητες για τις ώρες 23:00-07:00 όπου η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη.»



Σχήμα 5.32: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας (kWh) σε χρονικές ζώνες για το σπίτι #03

Συμβουλή: «Το υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας εμφανίζεται το μεσημέρι. Σκεφτείτε να εγκαταστήσετε φωτοβολταϊκά πάνελ για να καλύψετε την κατανάλωση αυτών των ωρών.»

Σπίτι #01:

Η κατανάλωση ενέργειας στο Σπίτι #01 είναι υψηλότερη τις πρωινές ώρες, κάτι που υποδηλώνει ότι οι κύριες ενεργοβόρες δραστηριότητες γίνονται κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα το πρωί και το απόγευμα. Αυτή η κατανομή δείχνει ότι πιθανόν οι κάτοικοι του σπιτιού να έχουν έντονη δραστηριότητα σε αυτές τις ώρες. Η σύσταση εδώ είναι να μεταφέρουν τις ενεργοβόρες δραστηριότητες σε νυχτερινές ώρες για να εξοικονομήσουν κόστος, ειδικά αν χρησιμοποιούν συσκευές όπως κλιματιστικά ή άλλες ηλεκτρικές συσκευές κατά τις ώρες αιχμής.

Σπίτι #03:

Από την άλλη πλευρά, το Σπίτι #03 παρουσιάζει την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας κατά τις μεσημεριανές ώρες. Αυτό δείχνει ότι το σπίτι καταναλώνει περισσότερη ενέργεια όταν η τιμή του ρεύματος είναι υψηλή, λόγω της αυξημένης χρήσης ηλεκτρικών συσκευών κατά το μεσημέρι. Μια στρατηγική που μπορεί να προταθεί εδώ είναι η χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ, δεδομένου ότι η υψηλότερη κατανάλωση συμβαίνει όταν η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης.

Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμβουλών προληπτικού τύπου, με σκοπό είτε τη μείωση του κόστους ενέργειας μέσω καλύτερου προγραμματισμού, είτε τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης με την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από οικιακούς χρήστες αποκαλύπτει σημαντικές διαφοροποιήσεις στη χρήση ενέργειας μεταξύ διαφορετικών νοικοκυριών. Αυτό δείχνει ότι οι συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες ανάγκες και συνθήκες κάθε σπιτιού, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι συνήθειες των κατοίκων και τα χαρακτηριστικά των κτιρίων. Η ακριβής παρακολούθηση της κατανάλωσης μέσω έξυπνων μετρητών και αισθητήρων επιτρέπει την αναγνώριση των ενεργοβόρων συσκευών και των περιόδων με υψηλή κατανάλωση, προσφέροντας τη δυνατότητα για εξατομικευμένες συστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Μια βασική διαπίστωση της εργασίας είναι ότι η κατανόηση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στον σχεδιασμό μέτρων εξοικονόμησης που μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες κάθε νοικοκυριού. Με την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη συσχέτισή τους με περιβαλλοντικούς και κτιριακούς παράγοντες, καθίσταται δυνατή η διαμόρφωση στρατηγικών εξοικονόμησης που προσαρμόζονται στις καθημερινές συνήθειες των κατοίκων. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών παραγόντων και η σύνδεσή τους με την ενεργειακή κατανάλωση. Η ανάλυση υποδεικνύει ότι οι εξωτερικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών, ιδίως σε σχέση με συσκευές θέρμανσης και ψύξης. Η προσαρμογή των συμβουλών εξοικονόμησης σύμφωνα με αυτές τις περιβαλλοντικές μεταβλητές επιτρέπει στους χρήστες να εξοικονομούν ενέργεια πιο αποτελεσματικά, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες.

Επιπλέον, η ανάλυση επισημαίνει ότι οι προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας επικεντρώνονται κυρίως σε προληπτικές συμβουλές. Η προληπτική προσέγγιση παρέχει στους οικιακούς χρήστες ειδοποιήσεις και συμβουλές που τους βοηθούν να διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας πιο αποτελεσματικά, με στόχο την αποφυγή ενεργειακής σπατάλης και την εξοικονόμηση κόστους. Οι συμβουλές αυτές στηρίζονται στην ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας κάθε σπιτιού, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τις ώρες και τις συσκευές που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια, καθώς και για τις δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης.

Εξίσου σημαντική είναι η παροχή των συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας στον σωστό χρόνο. Η παροχή των συμβουλών πρέπει να γίνεται με κατάλληλη συχνότητα, όπως εβδομαδιαία ή μηνιαία, ώστε να αποφεύγεται η υπερπληροφόρηση του χρήστη και να διασφαλίζεται ότι οι ειδοποιήσεις παραμένουν στοχευμένες και ουσιαστικές. Με αυτόν τον τρόπο, οι χρήστες δεν κουράζονται από συνεχή μηνύματα, αλλά διατηρούν την προσοχή τους στα σημαντικά δεδομένα, επιτυγχάνοντας καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσής τους.

Τέλος, μια από τις πιο σημαντικές διαπιστώσεις της εργασίας είναι ότι η ανακατανομή της χρήσης συσκευών κατά τις ώρες χαμηλής χρέωσης μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση στον λογαριασμό ηλεκτρικού ρεύματος. Οι οικιακοί χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες ή τις ώρες μη αιχμής, ανακατανέμοντας τη χρήση ενεργοβόρων συσκευών σε αυτές τις περιόδους. Αυτό όχι μόνο βοηθά στη μείωση του κόστους, αλλά και στην αποσυμφόρηση του δικτύου κατά τις

ώρες αιχμής, συμβάλλοντας στην πιο αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας σε ευρύτερο επίπεδο.

Συμπερασματικά, η εργασία αποδεικνύει τη σημασία της χρήσης δεδομένων από έξυπνους μετρητές για την παρακολούθηση και ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω εξατομικευμένων συμβουλών. Οι προληπτικές και προσαρμοσμένες στις ανάγκες των χρηστών συμβουλές αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες για τη μείωση της ενεργειακής σπατάλης και του κόστους, προσφέροντας σημαντικά οφέλη τόσο για τους οικιακούς χρήστες όσο και για το περιβάλλον.

6.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί μελλοντικά να επεκταθεί ως ακολούθως:

- **Επέκταση σε μεγαλύτερη κλίμακα δεδομένων:** Η ανάλυση μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση δεδομένων από περισσότερα νοικοκυριά ή περιοχές, επιτρέποντας τη δημιουργία συμβουλών εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια και αντιπροσωπευτικότητα.
- **Ανάπτυξη συμβουλών με χρήση πρόβλεψης κατανάλωσης:** Η ενσωμάτωση περαιτέρω μοντέλων πρόβλεψης κατανάλωσης μπορεί να επιτρέψει την εξαγωγή συμβουλών βασισμένων σε μελλοντικά μοτίβα κατανάλωσης, προσφέροντας περισσότερες προληπτικές στρατηγικές.
- **Πιλοτική ενσωμάτωση σε εφαρμογή smartphone/tablet χρήστη:** Η ανάπτυξη μιας εφαρμογής που επιτρέπει στους χρήστες να λαμβάνουν συμβουλές και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, θα μπορούσε να αναδείξει το πως παρουσιάζονται αυτές οι συμβουλές σε κάθε οικιακό χρήστη.
- **Μελέτη συμπεριφοράς καταναλωτών και ψυχολογίας:** Η διερεύνηση της επίδρασης των συμβουλών στη συμπεριφορά των καταναλωτών, καθώς και των ψυχολογικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση, μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές στρατηγικές εξοικονόμησης.
- **Διεθνής εφαρμογή και συγκρίσεις:** Η ανάλυση και η εξαγωγή συμβουλών θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε διεθνές επίπεδο, επιτρέποντας συγκρίσεις της ενεργειακής κατανάλωσης και της αποδοτικότητας σε διαφορετικές χώρες και κλιματικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μηνάρδος, Θ. (2023). *Εξοικονόμηση ενέργειας σε οικία*. Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο.
- [2] Σταμενίτης, Δ. (2018). *Εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- [3] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2020). OpenGov. <http://www.opengov.gr/minenv/?p=4204>
- [4] Μαριόλας, Π. (2015). *Συστήματα έξυπνων σπιτιών: Ψηφιακός έλεγχος, διαχείριση και υποστηρικτικές τεχνολογίες οικημάτων και κτηρίων*. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- [5] A. Chakraborty, M. Islam, F. Shahriyar, S. Islam, H. U. Zaman, and M. Hasan, "Smart Home System: A Comprehensive Review," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, March 2023, doi: <https://doi.org/10.1155/2023/7616683>
- [6] A.-G. Paetz, E. Dütschke, and W. Fichtner, "Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions," *Journal of Consumer Policy*, March 2012, doi: <https://doi.org/10.1007/s10603-011-9177-2>
- [7] C. Wilson, T. Hargreaves, and R. Hauxwell-Baldwin, "Smart homes and their users: A systematic analysis and key challenges," *Personal and Ubiquitous Computing*, February 2014, doi: <https://doi.org/10.1007/s00779-014-0813-0>
- [8] L. Das, P. Anand, A. Anjum, M. Aarif, N. Maurya, and A. Rana, "The impact of smart homes on energy efficiency and sustainability", 2023, *10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, Gautam Buddha Nagar, India.
- [9] P. P. Morita, K. S. Sahu, and A. Oetomo, "Health monitoring using smart home technologies: Scoping review," *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 11, April 2023.
- [10] Statista. (2021). "Smart homes: Global market insights and projections." [Online]. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.statista.com/topics/2430/smart-homes/>
- [11] D. D. Furszyfer Del Rio, B. K. Sovacool, and S. Griffiths, "Culture, energy and climate sustainability, and smart home technologies: A mixed methods comparison of four countries", *Energy and Climate Change*, December 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2021.100035>
- [12] B. K. Sovacool and D. D. Furszyfer Del Rio, "Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, March 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109663>

- [13] N. Balta-Ozkan, B. Boteler, and O. Amerighi, "European smart home market development: Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy," *Energy Research & Social Science*, vol. 3, pp. 65-77, Sep. 2014; <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.007>
- [14] A. Bhati, M. Hansen, and C. M. Chan, "Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households," *Energy Policy*, vol. 104, pp. 230-239, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>
- [15] J. Bugeja, "On Privacy and Security in Smart Connected Homes", 2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC).
- [16] F. Farokhi, "Review of results on smart-meter privacy by data manipulation, demand shaping, and load scheduling," *IET Smart Grid*, vol. 3, no. 5, pp. 605-613, 2020, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2020.0129>
- [17] Z. Chen, A. Moradi, X. Yu, and M. Jalili, "Control and optimisation of power grids using smart meter data: A review," *Sensors*, vol. 23, no. 4, p. 2118, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23042118>
- [18] L. C. De Silva, T. Dewana, M. I. Petra, and G. A. Punchihewa, "Multiple sensor based autonomous monitoring and control for energy efficiency", *Trends In Intelligent Robotics, Communications in Computer and Information Science* (pp. 361-368).
- [19] Statista. (2024). "Number of smart homes per segment in Europe." [Online]. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.statista.com/forecasts/887705/number-of-smart-homes-per-segment-in-europe>
- [20] H.-L. Pham, S. Tokura, V.-D. Nguyen, N.-A. Nguyen, and N.-A. Lai, "Study on Power Consumption and Energy Performance of Split-Type Air-Conditioners," *J. Sci. Technol.*, vol. 100, pp. 31-35, 2014.
- [21] ΔΕΗ, "G1 και G1N Τιμολογιακά Προγράμματα", [Online]. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.dei.gr/el/gia-to-spiti/revma/g1-g1n/>
- [22] J. Carroll, S. Lyons, and E. Denny, "Reducing household electricity demand through smart metering: The role of improved information about energy saving," *Energy Economics*, vol. 45, pp. 234-243, Sep. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.07.007>
- [23] D. Geelen, R. Mugge, S. Silvester, and A. Bulters, "The use of apps to promote energy saving: a study of smart meter-related feedback in the Netherlands," *Energy Efficiency*, vol. 12, no. 6, pp. 1635-1660, 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09777-z>
- [24] G. P. R. Filho, L. A. Villas, V. P. Gonçalves, G. Pessin, A. A. F. Loureiro, and J. Ueyama, "Energy-efficient smart home systems: Infrastructure and decision-making process," *Internet of Things*, vol. 5, pp. 153-167, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.12.004>
- [25] Π. Σ. Γεωργιλάκης, *Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Ηλεκτρονικό Βιβλίο, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ), Αθήνα, 2015.
Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα : <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2013>
- [26] Π. Σ. Γεωργιλάκης, *Οικονομική και Αξιόπιστη Λειτουργία Σύγχρονων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Ηλεκτρονικό Βιβλίο, Κάλλιπος, Ανοικτές

Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, Αθήνα, 2023.

Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα :

<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/9369>

- [27] N. Jones, "A prototype tool for automatically generating energy-saving advice based on smart meter data", *Energy Efficiency*, Feb. 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9639-3>
- [28] IoT Analytics, "Smart Meter Adoption: 2023 Market Report", [Online]. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://iot-analytics.com/smart-meter-adoption/>
- [29] M. Nachreiner, B. Mack, E. Matthies, and K. Tampe-Mai, "An analysis of smart metering information systems: A psychological model of self-regulated behavioural change," *Energy Research & Social Science*, vol. 9, pp. 85-97, Sep. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.08.016>
- [30] University of Strathclyde, "PLEGMA Dataset," Pure Portal, University of Strathclyde, Jan. 2023, [Online]. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://pureportal.strath.ac.uk/en/datasets/plegma-dataset>
- [31] A. Rizwan, R. Rasheed, H. Javed, Q. Farid, and S. R. Ahmad, "Environmental sustainability and life cycle cost analysis of smart versus conventional energy meters in developing countries," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 782-795, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00464>
- [32] "https://pandas.pydata.org/docs/".
- [33] "https://numpy.org/doc/".
- [34] "https://matplotlib.org/stable/contents.html".
- [35] "https://scikit-learn.org/stable/".