



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Εξυπνοι Μετρητές, Δημιουργία Βάσης Δεδομένων
και Event Detection σε μια Πραγματική Οικιακή
Ηλεκτρική Εγκατάσταση

Βρακάτου Ελευθερία

A.M.:HN08133

Επιβλέποντες: Επικ. Καθηγητής Άγγελος Σ. Μπουχουράς,

Υπ. Δρ. Πέτρος Παπαγεωργίου

Έξυπνοι Μετρητές, Δημιουργία Βάσης Δεδομένων
και Event Detection σε μια Πραγματική Οικιακή
Ηλεκτρική Εγκατάσταση

Βρακάτου Ελευθερία

5 Μαρτίου 2023

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο "Έξυπνοι Μετρητές, Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Event Detection σε μια Πραγματική Οικιακή Ηλεκτρική Εγκατάσταση" καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Μπουχουρά Άγγελου αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

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 μόνο.

Copyright (C) Βρακάτου Ελευθερία & Μπουχουράς Άγγελος, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή

Περίληψη

Στην εν λόγω πτυχιακή εργασία πρόκειται να αναλυθούν έννοιες όπως έξυπνοι μετρητές, βάση δεδομένων και αναγνώριση γεγονότων (event detection). Με τη βοήθεια των έξυπνων μετρητών, κατηγορία στην οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ανήκουν οι έξυπνοι ρευματοδότες αλλά και ο έξυπνος αναλυτής ενέργειας τα οποία εγκαταστάθηκαν σε μια πραγματική οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση, γίνεται συλλογή και επεξεργασία μιας σειράς δεδομένων. Η συλλογή διήρκεσε δώδεκα μήνες. Αυτά τα δεδομένα διαχωρίστηκαν σε κλάσεις και εφαρμόστηκε μια μέθοδος event detection με σκοπό την αξιολόγηση των δυνατοτήτων για αυτόματη ανίχνευση στην αλλαγή συμπεριφοράς της κατανάλωσης ενέργειας και την πρόβλεψη αντίστοιχων events, όπως η παρουσία ή η απουσία των κατοίκων στο σπίτι, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση ηλεκτρικών συσκευών.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνοι μετρητές, βάση δεδομένων, αναγνώριση συμβάντων

Abstract

In this thesis, concepts such as smart meters, database and event detection are to be analyzed. With the help of smart meters, such as smart current meters and a smart three-phase energy analyzer, installed in a real domestic installation, a series of data is collected and processed. The collection lasted twelve months, from which, in combination with the creation of classes and groups, the analysis of the data was obtained in order to identify events and automatic detection in the change of behaviour of energy consumption and the prediction of corresponding events, such as the presence or absence of residents in the house, the activation or deactivation of electrical appliances.

Keywords: Smart meters, database, event detection

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Άγγελο Μπουχουρά, για τις χρήσιμες κατευθύνσεις, οδηγίες και επιστημονικές κουβέντες, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Πέτρο Παπαγεωργίου για τις υποδείξεις του. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για τη στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια αλλά και το φίλο μου Μιχάλη που ήταν δίπλα μου όλο αυτό τον καιρό και με στήριζε με όποιο τρόπο μπορούσε.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων	2
1 Εισαγωγή	4
1.1 Ενέργεια και Έξυπνοι Μετρητές	4
1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής της Εργασίας	4
1.3 Σκοπός της Εργασίας	5
2 Μετρητικός Εξοπλισμός Οικιακής Εγκατάστασης	6
2.1 Έξυπνο Σπίτι	6
2.2 Έξυπνοι ρευματοδότες της «Ham Systems»	8
2.3 Τριφασικός Αναλυτής Ενέργειας της Meazon	15
3 Πειραματικό Στάδιο	21
3.1 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων για Event Detection	21
3.2 Event Detection	34
4 Συμπεράσματα	40
4.1 Σύνοψη	40
4.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	40

Κατάλογος Σχημάτων

2.1 Έξυπνο σπίτι	6
2.2 Έξυπνη κάμερα	7
2.3 Παράδειγμα έξυπνου ρευματοδότη	7
2.4 Αρχικό μενού πλατφόρμας Ham Systems	9
2.5 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ισχύος του για μια εβδομάδα	9
2.6 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ενέργειας του για μια εβδομάδα.	10
2.7 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ενέργειας του για μια εβδομάδα.	10
2.8 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της τάσης του για μια εβδομάδα.	11
2.9 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα των εκπομπών CO2 για μια εβδομάδα.	11
2.10 Μενού του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα του κόστους του για μια εβδομάδα.	12
2.11 Επιλογές παραμέτρων για την δημιουργία αρχείου με τα αντίστοιχα δεδομένα.	13
2.12 Στιγμιότυπο από αρχείο δεδομένων από τον έξυπνο ρευματοδότη που αφορά το κινητό.	14
2.13 Στιγμιότυπο από αρχείο δεδομένων από τον έξυπνο ρευματοδότη που αφορά το πλυντήριο	15
2.14 Τριφασικός μετρητής "DinRail Advanced 3-Phase"	16
2.15 Set Device Profile	17
2.16 Multi Compare περιβάλλον	17
2.17 Multi Compare επιλογή παραμέτρων	18
2.18 Multi Compare γράφημα σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη	18
2.19 Γραφικές παραστάσεις μετρήσεων	19
2.20 Γραφικές παραστάσεις μετρήσεων	19
2.21 Αρχικό μενού της πλατφόρμας της Meazon	20
2.22 Μενού επιλογής μεγεθών και παραμέτρων	20
3.1 Διαδικασία για Event Detection	22
3.2 Δημιουργία μιας συνάρτησης που εφαρμόζεται στο Excel, για τα clusters	23
3.3 Βάση δεδομένων: φύλλο πρώτο	23
3.4 Βάση δεδομένων: φύλλο δεύτερο	24
3.5 Βάση δεδομένων: φύλλο τρίτο	24
3.6 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο	25
3.7 Event 21	26
3.8 Event 20	26

3.9 Event 31	27
3.10 Event 30	27
3.11 Event 2131	27
3.12 Event 2030	28
3.13 Event 3120	28
3.14 Event 2130	29
3.15 All Events	29
3.16 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(I_{rms})$	30
3.17 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd03A)$	31
3.18 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd05A)$	31
3.19 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd07A)$	32
3.20 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(I_{rms})$	32
3.21 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(ihd03A)$	33
3.22 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(ihd05A)$	33
3.23 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(ihd07A)$	34
3.24 Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: SUM	34
3.25 Εξεταζόμενες συνθήκες ανίχνευσης ενός event.	35
3.26 Σχεδιάγραμμα events 15ης Νοεμβρίου 2021	36
3.27 Σχεδιάγραμμα events 24ης Δεκεμβρίου 2021	37
3.28 Σχεδιάγραμμα events 25ης Δεκεμβρίου 2021	38
3.29 Σχεδιάγραμμα clusters 17ης Μαρτίου 2022	39

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ενέργεια και Έξυπνοι Μετρητές

Η λέξη ενέργεια, μία λέξη που χρησιμοποιείται συχνά αλλά παράλληλα μία λέξη που δεν ερμηνεύεται με τις ανθρώπινες αισθήσεις είναι ένα μέγεθος που εμφανίζεται στην καθημερινότητα ενός ανθρώπου. Τα αποτελέσματα της είναι αυτά που την προσδιορίζουν και τα ονομάζουμε έργα. Αποτελεί τον πυρήνα της φυσικής και ανθρώπινης δραστηριότητας, καθώς είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της κοινωνίας και τη διατήρηση της ζωής. Η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως ο ήλιος, τα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ο άνθρωπος μπορεί να την χρησιμοποιεί για να καλύψει τις ανάγκες του, αλλά και να δημιουργήσει νέες τεχνολογίες και ευκαιρίες ανάπτυξης. Πιο ειδικά μπορεί να είναι δυναμική, κινητική, θερμική, χημική αλλά και ηλεκτρική. Ως ηλεκτρική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα λόγω ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού. Κάποιοι από τους τρόπους με τους οποίους παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια είναι η καύση υλικών, τα φωτοβολταϊκά πάρκα, οι ανεμογεννήτριες και τα πυρηνικά εργοστάσια. Λόγω της μαζικής παραγωγής ενέργειας προς κατανάλωση, έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει και η ανάγκη αποθήκευσής της, μετατρέποντας την και σε άλλες μορφές ενέργειας όπως χημική και δυναμική. Για να υπάρχει όμως το καλύτερο αποτέλεσμα όσον αφορά την διαχείριση και τον έλεγχο αυτών των μεγάλων φορτίων ενέργειας, γεννήθηκε η ανάγκη δημιουργίας διαφόρων ειδών αναλογικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας. Συμβαδίζοντας με την πρόοδο των καιρών, την ψηφιοποίηση δεδομένων, το IoT [1], σύμφωνα με τις ανάγκες των καταναλωτών, η δημιουργία ψηφιακών και έξυπνων μετρητών [2] ήταν πλέον θέμα χρόνου.

1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής της Εργασίας

Με κίνητρο την επικαιρότητα και τα τρέχοντα γεγονότα στον τομέα της ενέργειας, οι μετρητές αφορούν μεγάλο κομμάτι με σημαντική αξία στην καθημερινότητα τόσο σε επιστημονικό επίπεδο όσο και οικονομικό. Με τα επίπεδα ακρίβειας της ενέργειας [3], ανεξαρτήτου κατηγορίας, να έχουν αυξηθεί και το φαινόμενο της ενεργειακής κρίσης να αποτελεί την κύρια είδηση των καιρών δημιουργήθηκαν ερωτήματα και απορίες τα οποία δε μπόρεσαν να απαντηθούν. Οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και το event detection [4] αποτελούν μια από τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται για να βελτιωθεί η απόδοση και η διαχείριση του δικτύου. Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να μετρήσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να ανιχνεύσουν τυχόν προβλήματα στην ηλεκτρική εγκατάσταση την οποία επιτηρούν, ενώ το event detection μπορεί να επιτρέψει

την άμεση αντίδραση σε αυτά, προλαμβάνοντας έτσι πιθανές διακυμάνσεις στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η ανάλυση των δεδομένων [5] που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας και τις συνήθειες των καταναλωτών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της διαχείρισης του δικτύου και την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων πρακτικών κατανάλωσης ενέργειας.

1.3 Σκοπός της Εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος που θα επιτρέπει κατά κύριο λόγο στους καταναλωτές και κατα δεύτερο λόγο στους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας την επιτήρηση οικιακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Μέσα από την επιτήρηση αυτή θα μπορούν να εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για το μέγεθος την ηλεκτρικής κατανάλωσης οδηγώντας σε πιθανή μείωση αυτής. Παράλληλα, το event detection συγκεκριμένων ενεργοβωρων συσκευών θα μπορούσε να δώσει στους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας χρήσιμες πληροφορίες για τα μοτίβα κατανάλωσης των χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να λαμβάνονται άμεσα μέτρα για την αποκατάσταση του δικτύου και την πρόληψη περαιτέρω προβλημάτων. Επιπλέον, μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές, μπορούν να αναδειχθούν τάσεις και πρότυπα στην κατανάλωση ενέργειας, και να αναπτυχθούν προγράμματα που θα ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να πραγματοποιούν πιο αποδοτική και βιώσιμη κατανάλωση ενέργειας.

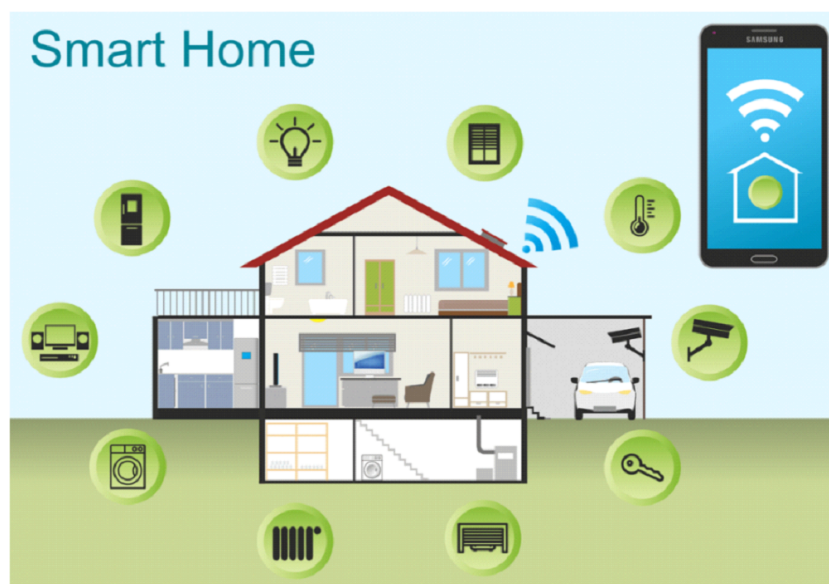
Κεφάλαιο 2

Μετρητικός Εξοπλισμός Οικιακής Εγκατάστασης

2.1 Έξυπνο Σπίτι

Η έννοια του έξυπνου σπιτιού [6] ξεκίνησε να εμφανίζεται στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και αφορά τη χρήση της τεχνολογίας για την αυτοματοποίηση των συστημάτων στο σπίτι. Αρχικά, η τεχνολογία αυτή περιοριζόταν σε απλές λειτουργίες, όπως ο έλεγχος του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών μέσω του τηλεχειριστηρίου ή του κινητού τηλεφώνου.

Μία από τις κρίσεις που διανύει η κοινωνία του 21ου αιώνα, είναι η κρίση αυτή της ενέργειας [7]. Η επιστήμη της Ηλεκτρολογίας, των Αυτοματισμών σε συνδυασμό με την ψηφιακή πραγματικότητα των ημερών και την ενστικτώδη ανάγκη των ανθρώπων στην προσαρμοστικότητα σε καθημερινές καταστάσεις, καθιστά τον όρο «έξυπνο σπίτι» αναγκαιότητα.



Σχήμα 2.1: Έξυπνο σπίτι

Σαν έξυπνο σπίτι ορίζεται μια οικιακή εγκατάσταση η οποία μέσω ενός τοπικού δικτύου, επιτρέπει την επικοινωνία συσκευών και χρήση. Πιο ειδικά, συσκευές που λειτουργούν με Wi-Fi, επιτρέπουν στον χρήστη να αποκτήσει στον χώρο του ασφάλεια, εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και άνεση. Όλα αυτά τα προαναφερθέντα προνόμια δίνονται στον εκάστοτε

χρήστη καθώς, μέσω του άμεσου ελέγχου των συσκευών αυτών, μέσω εφαρμογών που διατίθενται στον χρήστη μετά την αγορά τους, υπάρχει πλήρης έλεγχος του χώρου στο εσωτερικό αλλά και το εξωτερικό του, όπως για παράδειγμα με την χρήση έξυπνων καμερών [8], έξυπνων ρευματοδοτών [9], όπως φαίνονται στις εικόνες 2.2 και 2.3.



Σχήμα 2.2: Έξυπνη κάμερα



Σχήμα 2.3: Παράδειγμα έξυπνου ρευματοδότη

Μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι υπάρχει η άνεση, καθώς μέσω του χειρισμού των συσκευών εξ' αποστάσεως με κινητό ή tablet μέσω εφαρμογών, προσφέρεται στον χρήστη η ευκολία του χειρισμού ανά πάσα στιγμή και σε οποιονδήποτε χώρο βρίσκεται ο ίδιος στον φωτισμό του χώρου, την θερμοκρασία του, δημιουργώντας την ατμόσφαιρα που επιθυμεί.

Συγκεκριμένα, οι έξυπνοι ρευματοδότες μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή σε smartphone ή tablet, ένα έξυπνο ηχείο ή μια έξυπνη οθόνη. Επιπρόσθετα, με την χρήση ενός φωνητικού βοηθού [10], όπως το Amazon Alexa ή το Google Home, ελέγχεται μια έξυπνη πρίζα που αποτελεί μέρος του συνόλου ενός έξυπνου σπιτιού.

Ένα πλεονέκτημα των έξυπνων ρευματοδοτών είναι ότι καθιστούν τις τυπικές συσκευές και τις καταναλωτικές συσκευές έξυπνες, καθώς και ότι επιτρέπουν τον οικιακό αυτοματισμό. Τόσο οι μικρές συσκευές, όπως οι λάμπες και οι ανεμιστήρες, όσο και ο μεγάλος εξοπλισμός, όπως τα ψυγεία, οι κουζίνες και τα κλιματιστικά, μπορούν να ελεγχθούν από έξυπνους ρευματοδότες.

Εν κατακλείδι, τα συστήματα και οι συσκευές έξυπνου σπιτιού, συνεργάζονται συχνά μεταξύ τους, μοιράζονται μεταξύ τους δεδομένα χρήσης [11] των καταναλωτών και αυτοματοποιούν δραστηριότητες με βάση τις προτιμήσεις των ιδιοκτητών του σπιτιού, επιτυγχάνοντας έτσι την βέλτιστη λειτουργία συσκευών μιας εγκατάστασης.

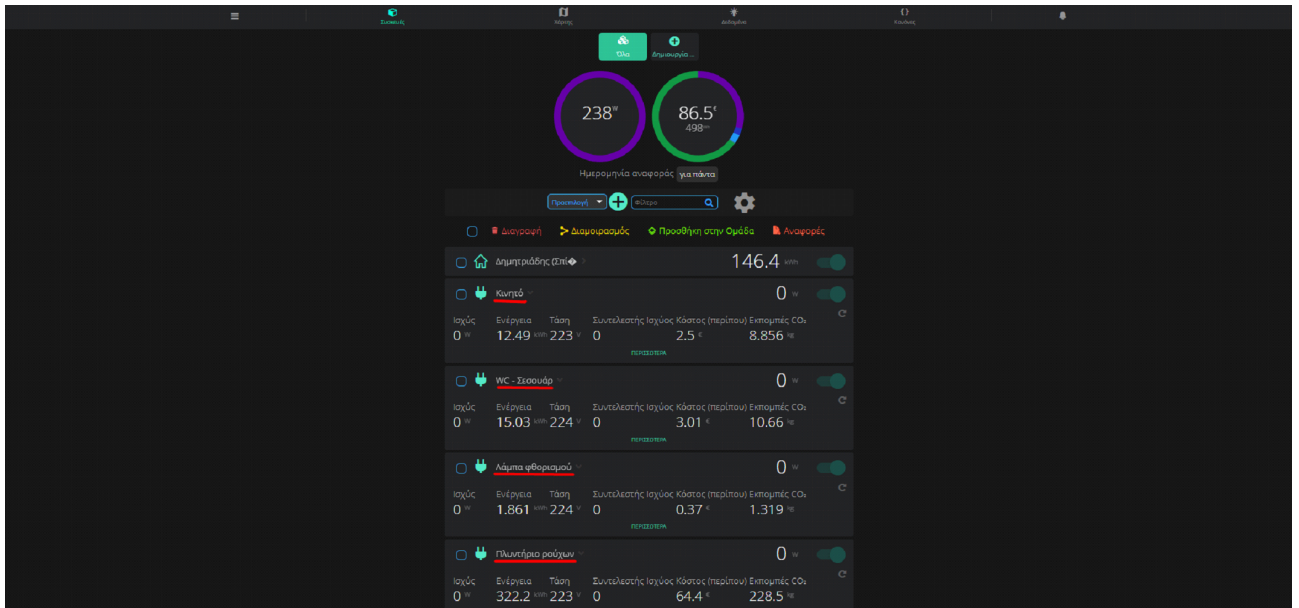
Το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικό στις μέρες μας λόγω της ενεργειακής κρίσης. Μέσω έξυπνων μετρητών, έξυπνων ρευματοδοτών ή έξυπνων θερμοστατών, τα οποία ελέγχουν την ενέργεια και άλλα μεγέθη στις ηλεκτρικές συσκευές μιας εγκατάστασης, προσφέρουν την δυνατότητα στον χρήστη να έχει τον πλήρη έλεγχο, όσον αφορά την κατανάλωση της ενέργειας αλλά και καλύπτοντας τις ενεργειακές του ανάγκες. Αυτό συμβαίνει ελέγχοντας τις ώρες και την διάρκεια της λειτουργίας των συσκευών αυτών της εγκατάστασης εύκολα και γρήγορα. Υπάρχουν προϊόντα έτοιμα προς χρήση που είναι απλά στην εγκατάσταση και προϊόντα που απαιτούν επαγγελματία ηλεκτρολόγο για την εγκατάστασή τους.

2.2 Έξυπνοι ρευματοδότες της «Ham Systems»

Στην περίπτωση της δεδομένης μελέτης, έχουν τοποθετηθεί τέσσερις έξυπνοι ρευματοδότες σε μια πραγματική οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση και έχουν αντιστοιχηθεί με τέσσερις συσκευές προκειμένου να παρουσιαστούν οι δυνατότητες που προσφέρει η χρησιμοποίησή τους. Με άλλα λόγια υπάρχει αποκλειστική χρήση των έξυπνων ρευματοδοτών από τις τέσσερις συσκευές. Πιο ειδικά, η μελέτη αφορά έναν ρευματοδότη ο οποίος τροφοδοτεί τη φόρτιση ενός κινητού, έναν ρευματοδότη στο WC της εγκατάστασης που αφορά ένα σεσουάρ, έναν τρίτο για μια λάμπα φθορισμού και τέλος ένα ρευματοδότη που τροφοδοτεί ένα πλυντήριο ρούχων.

Οι παραπάνω ρευματοδότες, μέσω μιας πλατφόρμας της «Ham Systems», μιας ελληνικής εταιρείας, παρέχουν την πρόσβαση του χρήστη σε δεδομένα και μετρήσεις που αφορούν μεγέθη όπως, ρεύμα, τάση, συντελεστή ισχύος. Η συλλογή δεδομένων ξεκίνησε στις 23 Φεβρουαρίου του 2022 και ολοκληρώθηκε στις 2 Ιουλίου του ίδιου έτους και αφορούσε τα μεγέθη, ρεύμα, τάση, συντελεστή ισχύος, ισχύς και έξοδος συσκευής.

Αρχικά, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4 η πλατφόρμα της «Ham Systems» παραθέτει τις συσκευές οι οποίες έχουν ενεργοποιηθεί στην εγκατάσταση. Συγκεκριμένα για τον ρευματοδότη του κινητού, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5 και 2.6 υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασης μετρήσεων ανάλογα το χρονικό εύρος που θα επιλεγεί από τον εκάστοτε χρήστη.



Σχήμα 2.4: Αρχικό menu πλατφόρμας Ham Systems



Σχήμα 2.5: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ισχύος του για μια εβδομάδα

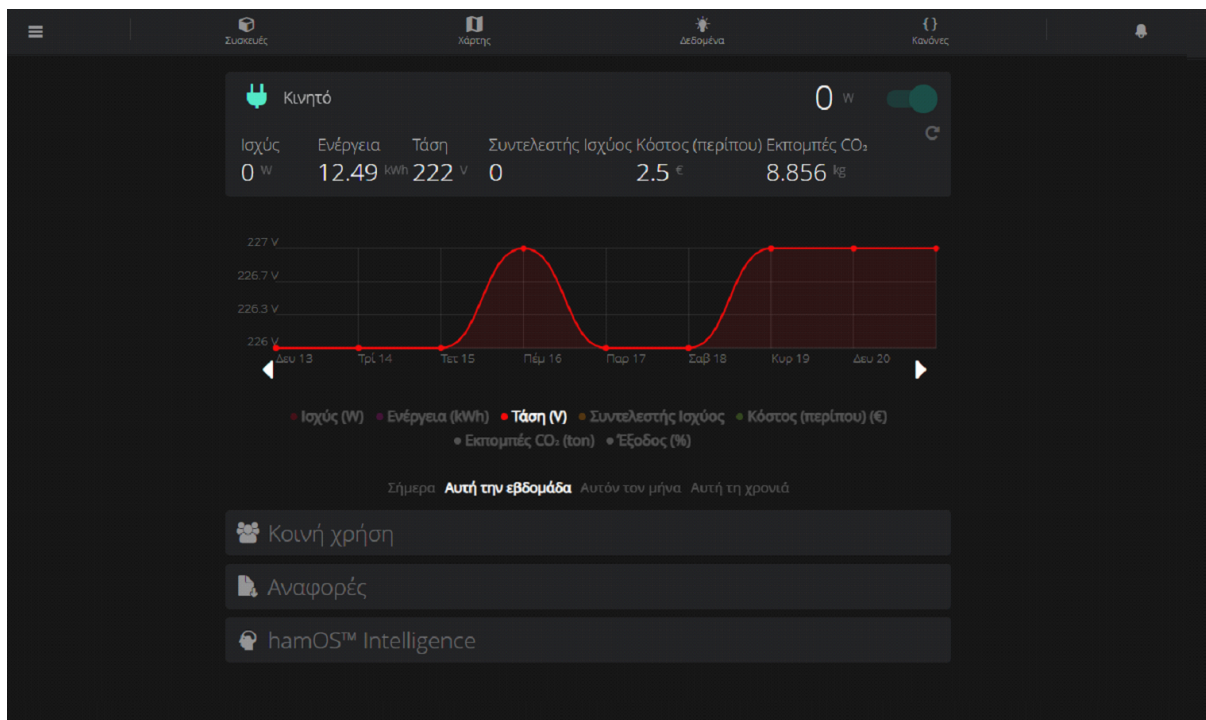


Σχήμα 2.6: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ενέργειας του για μια εβδομάδα.

Στην Εικόνα 2.6 φαίνονται σε μορφή γραφήματος, οι καταναλώσεις της ενέργειας του κινητού την τρέχουσα εβδομάδα ανά μέρα.



Σχήμα 2.7: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της ενέργειας του για μια εβδομάδα.

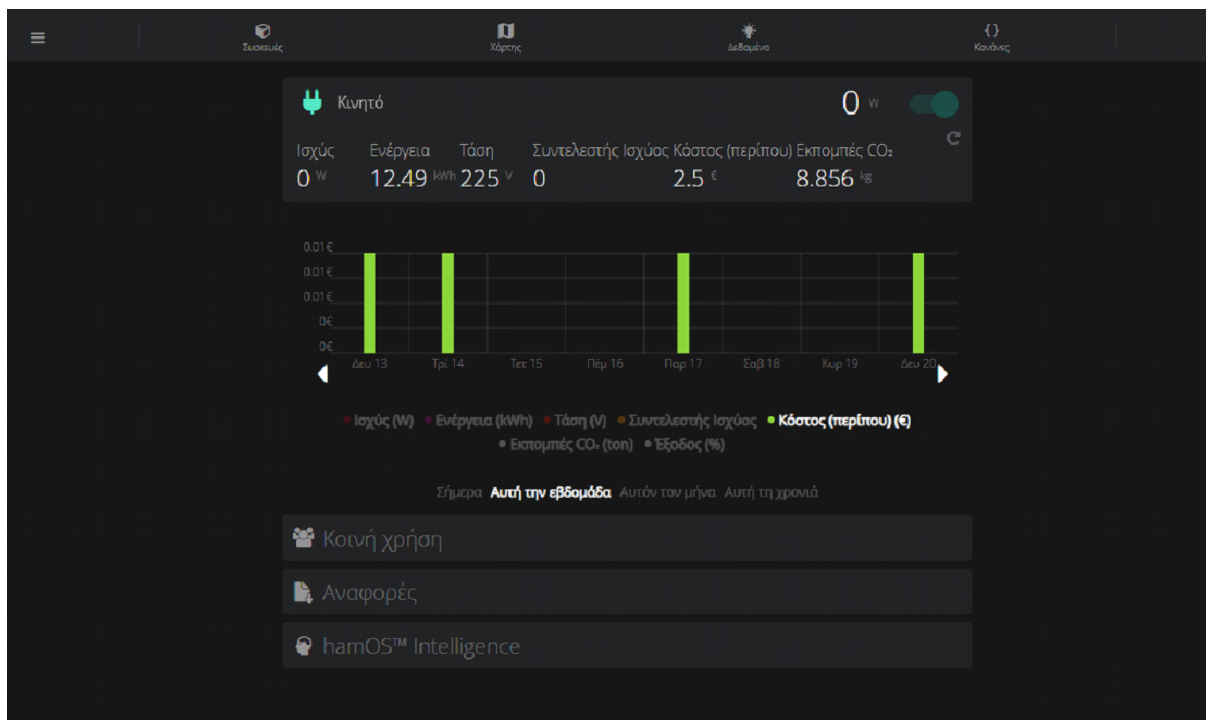


Σχήμα 2.8: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα της τάσης του για μια εβδομάδα.

Στην Εικόνα 2.8 παρατηρούμε την γραφική παράσταση της τάσης του ρευματοδότη που τροφοδοτεί την φόρτιση του κινητού και εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα της τάσης στο εν λόγω τμήμα της εγκατάστασης.



Σχήμα 2.9: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα των εκπομπών CO₂ για μια εβδομάδα.



Σχήμα 2.10: Menu του ρευματοδότη που τροφοδοτεί κινητό με το γράφημα του κόστους του για μια εβδομάδα.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.10 το γράφημα κόστους παραθέτει την αξία της κατανάλωσης ανά μέρα σε ευρώ. Στις τιμές για τα μεγέθη που παραθέτει η πλατφόρμα σημειώνεται πως το συνολικό κόστος της εβδομάδας με βάση τις καταναλώσεις, κατά προσέγγιση ανέρχεται στα 2,5 ευρώ.



Σχήμα 2.11: Επιλογές παραμέτρων για την δημιουργία αρχείου με τα αντίστοιχα δεδομένα.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.11, ο χρήστης αφού έχει επιλέξει την συσκευή που τον ενδιαφέρει μπορεί να κατεβάσει τις τιμές διάφορων μετρούμενων μεγεθών από τον έξυπνο ρευματοδότη μέσω της πλατφόρμας. Πιο συγκεκριμένα έχει την δυνατότητα να επιλέξει την περίοδο καταγραφής των δεδομένων που επιθυμεί να εξετάσει, την ώρα, σε τι μορφή προτιμάει να αποθηκευτεί το αρχείο του και τέλος την συχνότητα με την οποία ο ρευματοδότης θα παραθέτει τις μετρήσεις. Επιλέγοντας την ημερομηνία και παράλληλα την ώρα έναρξης των μετρήσεων που θέλει να κατεβάσει και κάνοντας το ίδιο και για την λήξη της περιόδου συλλογής μπορεί να θέσει τα όρια μια βάσης δεδομένων η οποία θα περιέχει τιμές από τον εκάστοτε έξυπνο ρευματοδότη. Με τον τρόπο αυτό θέτονται τα όρια της βάσης των δεδομένων που επιθυμεί ο χρήστης να παρατηρήσει.

Στην δεδομένη περίπτωση και όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11 τα μεγέθη τα οποία συντέλεσαν στην δημιουργία της βάσης δεδομένων ήταν η ισχύς, η ενέργεια, η τάση, το ρεύμα η έξοδος και ο συντελεστής ισχύος ή αλλιώς cosφ.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Date	Power (W)	Voltage (V)	Out (%)	Current(I)	Power Facto					
2	23/2/2022 0:00	0	0 off		0	0					
3	23/2/2022 0:01	0	0 off		0	0					
4	23/2/2022 0:02	0	231 on		0	0					
5	23/2/2022 0:03	0	231 on		0	0					
6	23/2/2022 0:04	0	231 on		0	0					
7	23/2/2022 0:05	0	231 on		0	0					
8	23/2/2022 0:06	0	231 on		0	0					
9	23/2/2022 0:07	0	231 on		0	0					
10	23/2/2022 0:08	0	231 on		0	0					
11	23/2/2022 0:09	0	231 on		0	0					
12	23/2/2022 0:10	0	231 on		0	0					
13	23/2/2022 0:11	0	231 on		0	0					
14	23/2/2022 0:12	0	231 on		0	0					
15	23/2/2022 0:13	0	231 on		0	0					
16	23/2/2022 0:14	0	231 on		0	0					
17	23/2/2022 0:15	0	231 on		0	0					
18	23/2/2022 0:16	0	231 on		0	0					
19	23/2/2022 0:17	0	231 on		0	0					
20	23/2/2022 0:18	0	231 on		0	0					
21	23/2/2022 0:19	0	231 on		0	0					
22	23/2/2022 0:20	0	231 on		0	0					
23	23/2/2022 0:21	0	231 on		0	0					
24	23/2/2022 0:22	0	231 on		0	0					
25	23/2/2022 0:23	0	231 on		0	0					
26	23/2/2022 0:24	0	231 on		0	0					
27	23/2/2022 0:25	0	231 on		0	0					
28	23/2/2022 0:26	0	231 on		0	0					
29	23/2/2022 0:27	0	231 on		0	0					

Σχήμα 2.12: Στιγμιότυπο από αρχείο δεδομένων από τον έξυπνο ρευματοδότη που αφορά το κινητό.

Στην Εικόνα 2.12, που αποτελεί ένα μικρό δείγμα του συνόλου των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από την εγκατάσταση, φαίνεται η τελική μορφή της βάσης δεδομένων που αφορά τον έξυπνο ρευαμοδότη της ham systems ο οποίος τροφοδοτεί την φόρτιση του κινητού κατά αποκλειστικότητα. Στην πρώτη στήλη «Α» φαίνεται αναλυτικά η ημερομηνία και η ώρα καταγραφής των δεδομένων που ακολουθούν στις υπόλοιπες στήλες. Οι μετρήσεις σε αυτή την περίπτωση παρατίθενται ανά λεπτό καθ' όλη τη διάρκεια της συλλογής τους.

Στην δέκατη σειρά και στην στήλη «D» φαίνεται η συσκευή ότι είναι ανοιχτή, η τάση που υπάρχει είναι ίση με 231V και τα υπόλοιπα μεγέθη είναι μηδενικά καθώς δεν πραγματοποιείται φόρτιση του κινητού.

NEWπλυντήριο23.02-02.04.xlsx - Excel

Αναζήτηση

Αρχείο Κεντρική Εισαγωγή Διάταξη σελίδας Τύποι Δεδομένα Αναθεώρηση Προβολή Βοήθεια

Επικόλληση

Calibri 11 A⁺ A⁻

B I U

Αναδίπλωση κειμένου

Γενική

Συγχώνευση και στοίχιση στο κέντρο

Αριθμός

154647

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4810	26/2/2022 8:08	0	236 on		0	0					
4811	26/2/2022 8:09	0	236 on		0	0					
4812	26/2/2022 8:10	0	236 on		0	0					
4813	26/2/2022 8:11	0	236 on		0	0					
4814	26/2/2022 8:12	0	236 on		0	0					
4815	26/2/2022 8:13	0	236 on		0	0					
4816	26/2/2022 8:14	3	233 on		0,039017	0,33					
4817	26/2/2022 8:15	3	233 on		0,039017	0,33					
4818	26/2/2022 8:16	3	233 on		0,039017	0,33					
4819	26/2/2022 8:17	79	230 on		0,350846	0,979					
4820	26/2/2022 8:18	59	231 on		1,20477	0,212					
4821	26/2/2022 8:19	61	231 on		0,843672	0,313					
4822	26/2/2022 8:20	875	229 on		7,155357	0,534					
4823	26/2/2022 8:21	1386	228 on		8,009153	0,759					
4824	26/2/2022 8:22	2009	227 on		9,180726	0,964					
4825	26/2/2022 8:23	1161	228 on		6,255658	0,814					
4826	26/2/2022 8:24	1161	228 on		6,255658	0,814					
4827	26/2/2022 8:25	1161	228 on		6,255658	0,814					
4828	26/2/2022 8:26	1161	228 on		6,255658	0,814					
4829	26/2/2022 8:27	1161	228 on		6,255658	0,814					
4830	26/2/2022 8:28	1161	228 on		6,255658	0,814					
4831	26/2/2022 8:29	1161	228 on		6,255658	0,814					
4832	26/2/2022 8:30	1161	228 on		6,255658	0,814					
4833	26/2/2022 8:31	1161	228 on		6,255658	0,814					
4834	26/2/2022 8:32	2179	225 on		11,27409	0,859					
4835	26/2/2022 8:33	2018	225 on		9,421102	0,952					
4836	26/2/2022 8:34	2050	228 on		9,375629	0,959					
4837	26/2/2022 8:35	2094	230 on		9,573447	0,951					
4838	26/2/2022 8:36	2075	229 on		9,468271	0,957					

Φύλλο1

Σχήμα 2.13: Στιγμιότυπο από αρχείο δεδομένων από τον έξυπνο ρευματοδότη που αφορά το πλυντήριο

Ένα επιπλέον παράδειγμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.13, αφορά τον ρευματοδότη στον οποίο συνδέεται η συσκευή του πλυντηρίου. Παρατηρείται πως στην 4826η σειρά, η συσκευή είναι σε λειτουργία στις 26 Φεβρουαρίου στις 08:24π.μ, η τάση ισούται με 228V, ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\varphi=0,814$ το ρεύμα είναι $I=6,25A$ και η ενέργεια είναι ίση με 1161W.

2.3 Τριφασικός Αναλυτής Ενέργειας της Meazon

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων μετρήσεων γίνεται επίσης από έξυπνους μετρητές. Για την συλλογή των δεδομένων και την δημιουργία μιας δεύτερης βάσης δεδομένων στην οποία θα εφαρμοστεί και η μέθοδος του event detection, πρώτο βήμα ήταν η εγκατάσταση ενός έξυπνου τριφασικού μετρητή, (DinRail Advanced 3-Phase) της ελληνικής εταιρίας Meazon που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.14, στον ηλεκτρολογικό πίνακα μιας πραγματικής μονοφασικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.



Σχήμα 2.14: Τριφασικός μετρητής "DinRail Advanced 3-Phase"

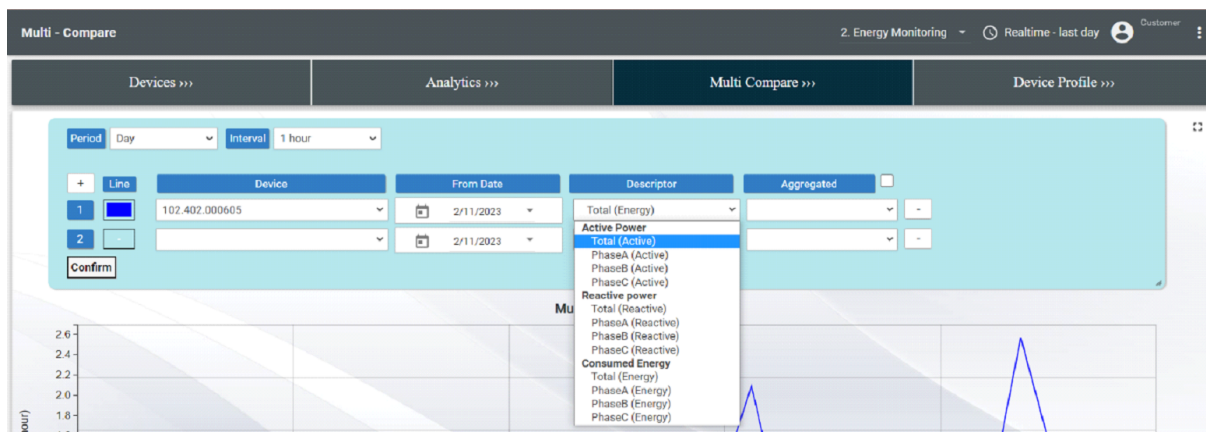
Ο μετρητής σχεδιάστηκε με στόχο την απομακρυσμένη καταγραφή και τον έλεγχο εναλλασσόμενων ηλεκτρικών καταναλώσεων για οικιακούς αλλά και επαγγελματικούς χώρους. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα στην προκειμένη περίπτωση, ο τριφασικός αυτός μετρητής είναι εγκατεστημένος σε μονοφασική εγκατάσταση και από εκεί λαμβάνει δεδομένα από τρεις γραμμές κατανάλωσης A, B και C. Η γραμμή A αφορά το σύνολο της κατανάλωσης του σπιτιού, η γραμμή B αφορά την τροφοδοσία μιας ηλεκτρικής κουζίνας και η C τον συνδυασμό ενός πλυντηρίου πιάτων και ενός πλυντηρίου ρούχων. Τα δεδομένα που συλλέγονταν από τον μετρητή, ανέβαιναν στην διαδικτυακή πλατφόρμα της Meazon, με σκοπό να υπάρχει πρόσβαση σε αυτά για χειροκίνητη λήψη και επεξεργασία στην συνέχεια.

Το περιβάλλον της πλατφόρμας, αφορά ένα πολύ φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον, με πολλές επιλογές. Πιο ειδικά, επιτρέπεται η πρόσβαση και η επεξεργασία σε πληροφορίες όσον αφορά τον μετρητή, όνομα, τύπο συσκευής, κατασκευαστή, πληροφορίες για τον τύπο συνδεσμολογίας και πλήθος φάσεων όπως αποτυπώθηκε στην Εικόνα 2.15.

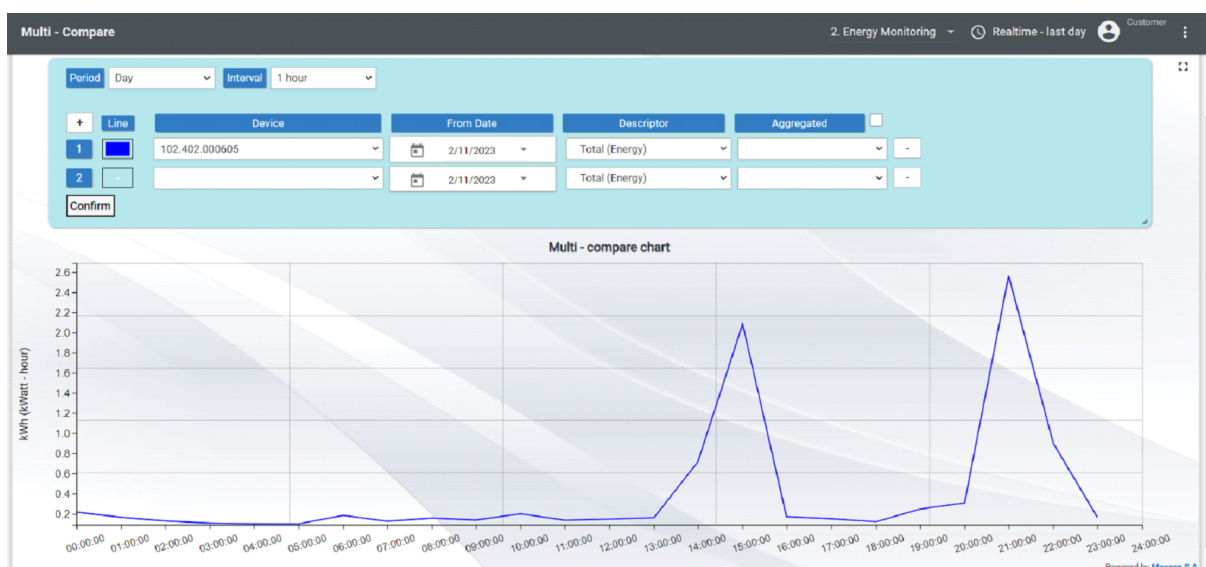
Σχήμα 2.15: Set Device Profile

Έπειτα, υπάρχει η επιλογή να συγκριθούν μετρήσεις από μετρητές ήδη τοποθετημένους στην εγκατάσταση επιλέγοντας μέρα, ώρα και το μέγεθος. Τα αποτελέσματα σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη, εμφανίζονται σε μορφή γραφήματος στο κάτω μέρος της σελίδας. Η αναφερθείσα διαδικασία παρουσιάζεται στις Εικόνες 2.16, 2.17, 2.18.

Σχήμα 2.16: Multi Compare περιβάλλον

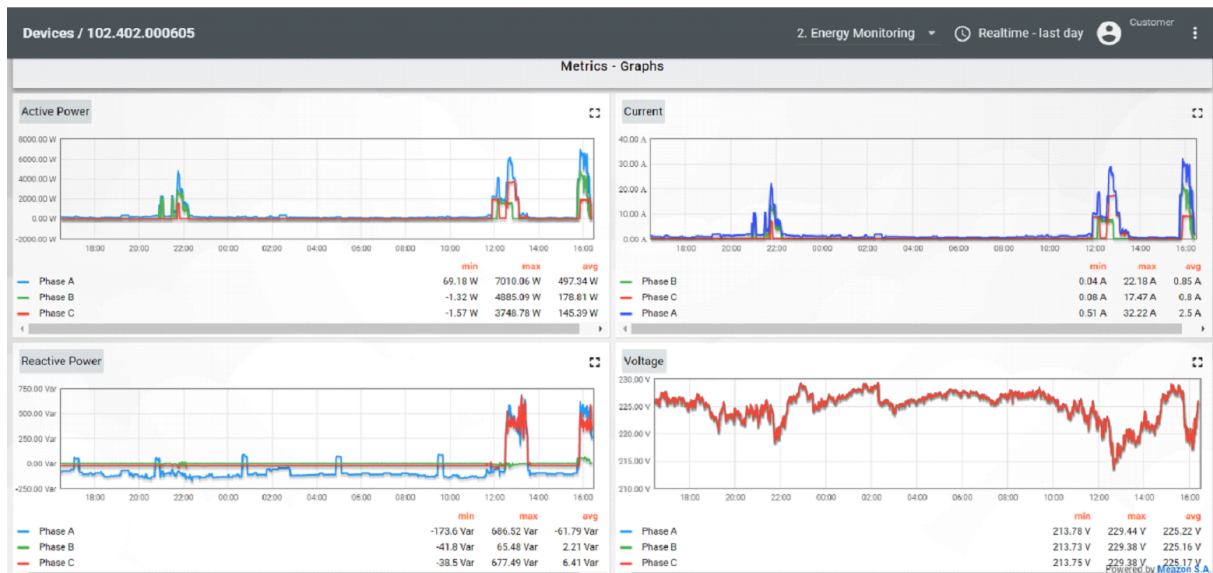


Σχήμα 2.17: Multi Compare επιλογή παραμέτρων

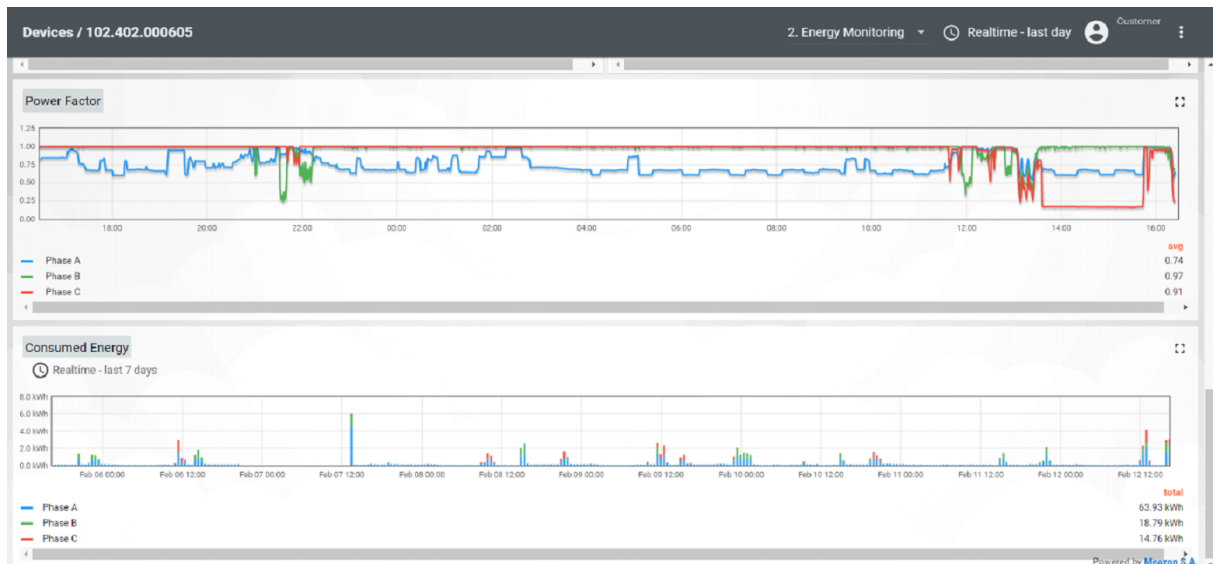


Σχήμα 2.18: Multi Compare γράφημα σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη

Εν συνεχεία, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.19 και στην Εικόνα 2.20, η πλατφόρμα προσφέρει την δυνατότητα παρουσίασης των μετρήσεων σε μορφή γραφήματος ανά φάση και ανά μέγεθος, με κοινό παρονομαστή τον χρόνο.

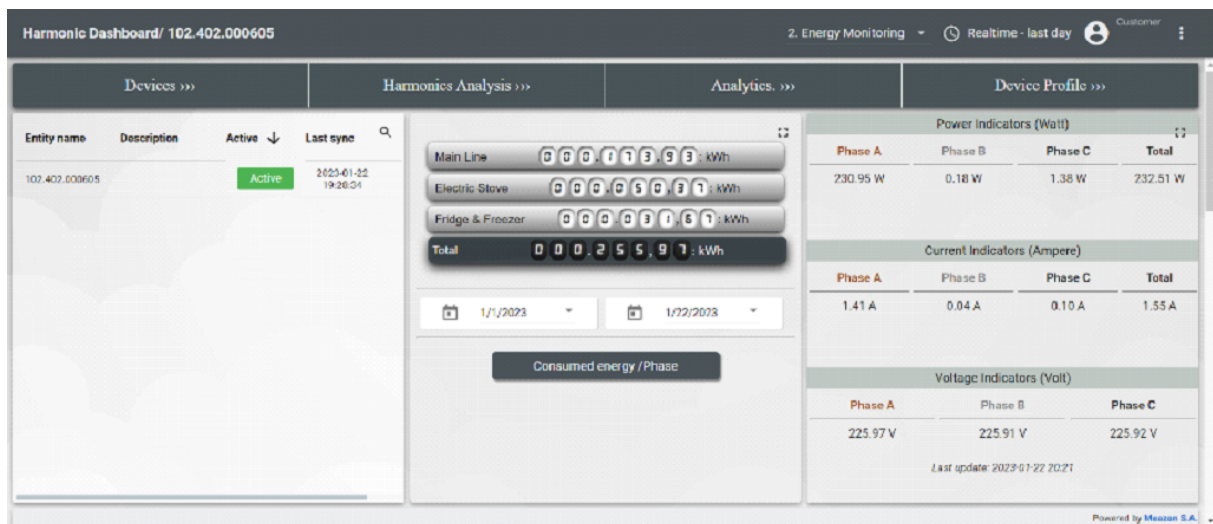


Σχήμα 2.19: Γραφικές παραστάσεις μετρήσεων

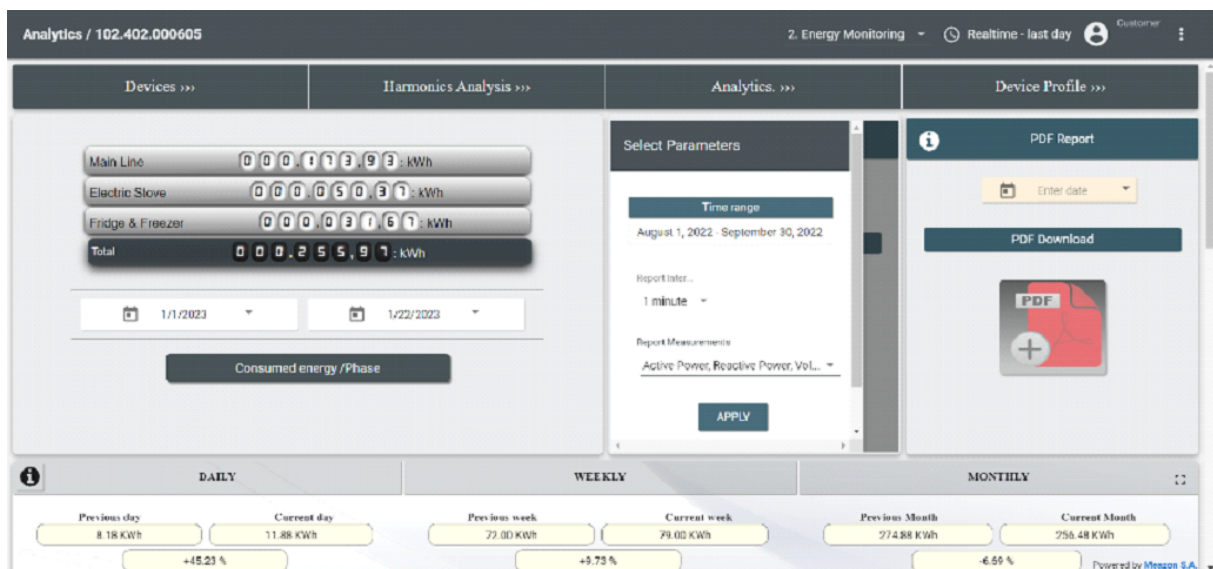


Σχήμα 2.20: Γραφικές παραστάσεις μετρήσεων

Επίσης, όπως φαίνεται στις εικόνες 2.21 και 2.22 υπάρχει συγκεκριμένο τμήμα της πλατφόρμας που προσφέρει την δυνατότητα επιλογής μετρούμενων μεγεθών από την ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία είναι τοποθετημένος ο έξυπνος αναλυτής ενέργειας, με σκοπό την συλλογή και περαιτέρω ανάλυση.



Σχήμα 2.21: Αρχικό μενού της πλατφόρμας της Meazon



Σχήμα 2.22: Μενού επιλογής μεγεθών και παραμέτρων

Κεφάλαιο 3

Πειραματικό Στάδιο

3.1 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων για Event Detection

Οι βάσεις δεδομένων [12] αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη της επιστήμης των μηχανικών μάθησης [13] και της τεχνητής νοημοσύνης. Από τις πρώτες βάσεις δεδομένων που δημιουργήθηκαν, στα μέσα της δεκαετίας του 1900, που αφορούσαν κυρίως αριθμητικά δεδομένα, οι βάσεις δεδομένων έχουν εξελιχθεί σε πολυσύνθετες δομές που περιέχουν ποικίλους τύπους δεδομένων όπως κείμενο, εικόνες, ήχο, βίντεο και άλλα. Αυτό έχει οδηγήσει στη δημιουργία εκατομμυρίων διαφορετικών βάσεων δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης.

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, ξεκίνησε ένα μεγάλο ενδιαφέρον για τη δημιουργία βάσεων δεδομένων που περιλαμβάνουν ανθρώπινη γνώση και κατανόηση, όπως η WordNet και η Cyc. Αυτές οι βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην ανάπτυξη εφαρμογών που απαιτούν πιο σύνθετη ανθρώπινη κατανόηση, όπως τα συστήματα ερωταποκρίσεων.

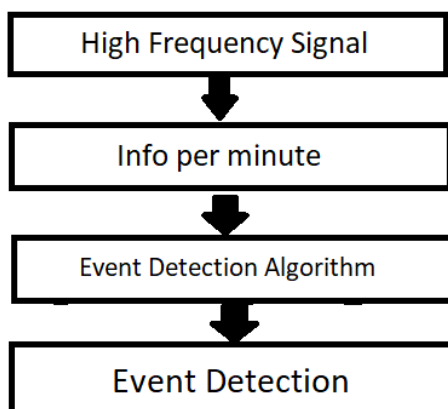
Πολλά δεδομένα αντλούνται από την καθημερινότητα μας. Για παράδειγμα, υπάρχει πρόσβαση σε καιρικά δεδομένα, δεδομένα που αφορούν προβολές σε ηλεκτρονικές πλατφόρμες, τηλεφωνικές κλήσεις, την ιατρική αλλά και δεδομένα που αντλούν αισθητήρες με πολλές εφαρμογές. Συγκεκριμένα στην δεδομένη εφαρμογή, στην οικιακή εγκατάσταση, με την χρήση του έξυπνου αναλυτή ενέργειας στον πίνακα της εγκατάστασης, σκοπός ήταν η συλλογή των δεδομένων ανά λεπτό καθημερινά και έπειτα να ακολουθηθεί η κατηγοριοποίησή τους βάσει συγκεκριμένων προϋποθέσεων σε κλάσεις. Δημιουργώντας αυτές τις κλάσεις δύναται η ευκαιρία τα δεδομένα να μελετηθούν εκτενέστερα και να προκύψει μέσω μιας διαδικασίας ένα συμπέρασμα για αυτά. Αυτά τα συμπεράσματα προκύπτουν μέσω της διαδικασίας ανίχνευσης γεγονότων «Event Detection».

Το Event Detection είναι η διαδικασία ανάλυσης ροών συμβάντων με σκοπό την ανακάλυψη events που ταιριάζουν μεταξύ τους. Τα μοτίβα συμβάντων και το περιεχόμενό τους καθορίζουν ορισμένους τύπους συμβάντων. Εάν ένα σύνολο συμβάντων που ταιριάζει με το μοτίβο ενός τύπου συμβάντος το οποίο ανακαλύπτεται κατά την ανάλυση, τότε οι εγγραφές του τύπου του συμβάντος θα πρέπει να σηματοδοτηθούν. Η ανάλυση συνήθως συνεπάγεται φιλτράρισμα και συγκέντρωση των συμβάντων.

Το Event Detection στην ενέργεια έχει μια μακρά ιστορία και χρονολογείται από τις αρχές του 20ού αιώνα, όταν οι πρώτοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας εισήγαγαν στοιχεία όπως η κατανάλωση, η τάση και η ένταση του ρεύματος. Αρχικά, οι μετρητές ήταν απλοί μηχανικοί μετρητές, ενώ σταδιακά εξελίχθηκαν σε έξυπνους μετρητές με ικανότητες

επεξεργασίας δεδομένων και ανίχνευσης συμβάντων.

Σήμερα, οι έξυπνοι μετρητές είναι κύριοι συλλέκτες δεδομένων στα δίκτυα ενέργειας και χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση συμβάντων όπως οι διακυμάνσεις της τάσης και του ρεύματος, οι διακοπές της ενέργειας, η διαρροή της ενέργειας και άλλα. Η ανίχνευση συμβάντων είναι σημαντική για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των δικτύων ενέργειας και έχει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, η εμπορία ενέργειας και η κατανάλωση ενέργειας. Παράλληλα όπως και στην περιπτώσή μας η ανίχνευση συμβάντων θα μπορούσε να αφορά ανίχνευση ενεργοποίησης και απενεργοποίησης συγκεκριμένων ενεργητικών ηλεκτρικών συσκευών μιας οικιακής ηλεκτρικής εγκατάστασης.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία για Event Detection

Σκοπός της συλλογής δεδομένων ήταν η δημιουργία της βάσης στην οποία εφαρμόστηκε το event detection. Σε αυτήν την βάση είναι συγκεντρωμένα όλα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της συνολικής μονοφασικής ηλεκτρικής κατανάλωσης μέσω της φάσης A συναρτήσει της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών που αναφέρθηκαν νωρίτερα και τις οποίες μελετούμε μέσω των φάσεων B και C του μετρητή. Για τον λόγο αυτό, θεσπίστηκε ένα όριο των 30 Watt για να ξεχωρίσουμε την ενεργή και την ανενεργή κατάσταση των υπό μελέτη ηλεκτρικών συσκευών στις φάσεις B και C όπως φαίνεται παρακάτω στις σχέσεις 1, 2, 3 και 4. Οι συνολικές μετρήσεις των μεγεθών αυτών, συλλέγονταν σε ένα αρχείο Excel για περαιτέρω επεξεργασία.

Όσον αφορά την περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης, τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για να μελετηθούν και στις τρεις γραμμές τροφοδοσίας, ήταν η ενεργός ισχύς, η άεργος ισχύς, η τάση, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος ανά ένα λεπτό μέσα στη μέρα, για ένα έτος τα οποία φαίνονται στην Εικόνα 2.21, Εικόνα 2.22.

Για τη γραμμή A, η οποία τροφοδοτεί το σύνολο της εγκατάστασης μελετήθηκε το ρεύμα, ο συντελεστής ισχύος, η ενεργή και η άεργος ισχύς. Η επί της εκατό αρμονική παραμόρφωση της 3ης, 5ης και 7ης αρμονικής του συνόλου ρεύματος, στις οποίες υπάρχει πρόσβαση μέσω του μετρητή, υποδεικνύουν το αποτύπωμα της λειτουργίας των συσκευών στην αρμονική παραμόρφωση του συνολικού ρεύματος. Για την δημιουργία των κλάσεων ορίστηκαν τέσσερις καταστάσεις με την βοήθεια μιας συνάρτησης "if" η οποία εφαρμόστηκε στο φύλλο Excel όπως φαίνεται στην συνέχεια στην Εικόνα 3.2.

Cluster 1: Phase B \leq 30W AND phase C \leq 30W (1)

Cluster 2: Phase B $>$ 30W AND phase C \leq 30W (2)

Cluster 3: Phase B \leq 30W AND phase C $>$ 30W (3)

Cluster 4: Phase B > 30 W AND phase C > 30W (4)

Πιο συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά μεγέθη που καταγράφονται μέσω της φάσης A που αφορά την συνολική κατανάλωση, αποτελούν το ηλεκτρικό αποτύπωμα των εξεταζόμενων ηλεκτρικών συσκευών για τις οποίες γνωρίζουμε αν λειτουργούν ή όχι μέσω του ορίου των 30 Watt της ενεργού ισχύος των φάσεων B και C.

$$=IF(AND(H2>0,03;J2>0,03);4;IF(AND(H2>0,03;J2<=0,03);2;IF(AND(H2<=0,03;J2>0,03);3;1)))$$

Σχήμα 3.2: Δημιουργία μιας συνάρτησης που εφαρμόζεται στο Excel, για τα clusters

Η περίοδος συλλογής των δεδομένων ξεκινά από την 1η Οκτωβρίου 2021 τα μεσάνυχτα και ολοκληρώνεται στις 30 Σεπτεμβρίου του επόμενου έτους στις 23:59. Παρ' όλα αυτά, ο μετρητής συνεχίζει να λειτουργεί και να αντλεί δεδομένα από την εγκατάσταση έως και σήμερα. Το κατέβασμα και η αποθήκευση των δεδομένων γινόταν όλο εκείνο το διάστημα συστηματικά με συχνότητα μιας εβδομάδας. Όταν ο όγκος των δεδομένων ήταν επαρκής για να δώσει τις πληροφορίες που χρειαζόντουσαν για τα αντίστοιχα αποτελέσματα, ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα επεξεργασίας τους.

Πρώτα, έχοντας τα μεγέθη και για τις τρεις γραμμές τροφοδοσίας της εγκατάστασης όπως παρουσιάζονται και στην Εικόνα 3.3,

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Date	Current A	Power factor	Live Power	live active power	Current B	live active power	Current C	live active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	ihd03B	ihd05B	ihd07B	ihd03C	ihd05C	ihd07C	Cluster	
2021-10-01 00:00:00	0,756	0,88	0,041	0,153	0,038	0	0,096	0,001	35,03	28,32	16,64	17,5	21,54	20,2	2,54	9,7	4,93	1	
2021-10-01 00:01:00	0,755	0,88	0,04	0,153	0,038	0	0,097	0,001	34,74	28,13	16,84	12,3	13,53	7,38	0,78	9,89	5,02	1	
2021-10-01 00:02:00	0,755	0,879	0,041	0,152	0,038	0	0,096	0,001	35,21	28,08	17,46	18,29	14,63	14,63	2,85	7,93	6,97	1	
2021-10-01 00:03:00	0,761	0,879	0,04	0,153	0,038	0	0,096	0,001	35,78	28,96	17,91	14,81	8,64	17,28	3,05	9,97	5,31	1	
2021-10-01 00:04:00	0,767	0,878	0,04	0,153	0,038	0	0,096	0,001	35,84	28,52	17,92	36,98	16,43	9,58	2,39	7,81	7,33	1	
2021-10-01 00:05:00	0,767	0,876	0,041	0,153	0,038	0	0,096	0,001	35,51	28,65	17,95	31,51	12,12	16,96	1,1	9,16	6,95	1	
2021-10-01 00:06:00	0,767	0,875	0,04	0,153	0,038	0	0,096	0,001	35,13	29,11	17,55	13,55	22,59	18,07	2,25	10,14	6,44	1	
2021-10-01 00:07:00	0,762	0,877	0,04	0,152	0,038	0	0,096	0,001	34,49	28,13	17,2	22,05	30,88	27,94	1,13	10,01	7,26	1	
2021-10-01 00:08:00	0,747	0,88	0,04	0,15	0,038	0	0,096	0,001	34,3	27,9	17,39	15,71	7,14	9,99	1,91	9,74	7,5	1	
2021-10-01 00:09:00	0,746	0,881	0,04	0,15	0,038	0	0,096	0,001	33,89	28	17,03	18,99	33,23	24,52	2,6	7,98	5,21	1	
2021-10-01 00:10:00	0,747	0,881	0,039	0,15	0,038	0	0,096	0,001	34,35	28,4	17,67	25,67	22,97	14,86	1,79	10,93	6,36	1	
2021-10-01 00:11:00	0,745	0,88	0,039	0,149	0,038	0	0,096	0,001	34,24	28,48	17,69	14,56	34,43	34,43	3,23	9,39	5,99	1	
2021-10-01 00:12:00	0,744	0,881	0,039	0,149	0,038	0	0,096	0,001	33,9	28,42	17,36	33,23	23,73	23,73	2,89	10,78	5,95	1	
2021-10-01 00:13:00	0,742	0,881	0,039	0,149	0,038	0	0,095	0,001	33,93	28,57	17,7	13,37	1,33	22,74	3,08	9,4	5,83	1	
2021-10-01 00:14:00	0,742	0,881	0,04	0,149	0,038	0	0,096	0,001	33,95	28,12	17,36	9,46	24,85	21,3	1,6	8,53	7,56	1	
2021-10-01 00:15:00	0,74	0,881	0,04	0,149	0,038	0	0,096	0,001	34,2	28,27	17,87	25,76	14,72	15,95	3,09	7,82	6,35	1	
2021-10-01 00:16:00	0,74	0,881	0,04	0,149	0,038	0	0,096	0,001	33,93	27,82	17,69	15,68	11,76	16,99	3,6	10,81	4,91	1	
2021-10-01 00:17:00	0,738	0,882	0,04	0,149	0,038	0	0,096	0,001	33,37	28,04	17,77	13,52	20,28	18,02	3,48	9,34	5,38	1	
2021-10-01 00:18:00	0,736	0,881	0,041	0,149	0,038	0	0,097	0,001	32,98	28,05	17,25	21,3	19,01	17,75	3,82	10,36	5,57	1	
2021-10-01 00:19:00	0,735	0,881	0,041	0,149	0,038	0	0,097	0,001	33,32	27,97	17,9	22,01	25,68	12,23	4,29	8,75	7,16	1	
2021-10-01 00:20:00	0,735	0,881	0,042	0,149	0,038	0	0,097	0,001	33,05	28,13	17,67	27,71	7,22	27,71	1,75	8,75	7	1	
2021-10-01 00:21:00	0,735	0,88	0,042	0,149	0,038	0	0,097	0,001	33,03	28,35	18,24	30,3	30,3	21,21	3,2	8,65	6,41	1	
2021-10-01 00:22:00	0,732	0,88	0,041	0,149	0,038	0	0,097	0,001	33,41	27,67	18,11	13,09	14,54	27,63	1,59	8,93	6,53	1	
2021-10-01 00:23:00	0,733	0,88	0,041	0,149	0,038	0	0,097	0,001	33,27	28,22	18,13	29,68	33,92	25,44	2,82	9,25	5,8	1	
2021-10-01 00:24:00	0,732	0,88	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	33,42	28,03	18,36	17,44	21,48	12,46	3,04	8	6,56	1	
2021-10-01 00:25:00	0,731	0,881	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	33,16	27,72	17,26	14,41	4,8	12,01	4,1	8,68	6,79	1	
2021-10-01 00:26:00	0,73	0,882	0,04	0,148	0,038	0	0,097	0,001	33,06	27,87	17,66	17,33	31,99	17,33	3,15	8,99	6,47	1	
2021-10-01 00:27:00	0,729	0,882	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	32,55	27,81	17,95	26,42	13,21	18,01	1,73	8,53	6	1	
2021-10-01 00:28:00	0,725	0,882	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	32,79	27,69	17,89	23,05	18,44	32,27	2,42	10,36	7,44	1	
2021-10-01 00:29:00	0,728	0,882	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	32,68	28,05	17,38	9,3	18,6	17,44	3,74	9,1	7,15	1	
2021-10-01 00:30:00	0,727	0,882	0,041	0,148	0,038	0	0,097	0,001	32,62	27,62	17,62	12,61	2,38	2,41	0,84	6,16	1		

Σχήμα 3.3: Βάση δεδομένων: φύλλο πρώτο

επιλέγονται τα δεδομένα της γραμμής A και μεταφέρονται στο δεύτερο φύλλο, Εικόνα 3.4. Αυτά είναι το ρεύμα A, το $\cos\phi(A)$, την ενεργό και άεργη ισχύ, την επί τοις εκατό αρμονική παραμόρφωση της 3ης 5ης 7ης αρμονικής του συνολικού ρεύματος και τέλος τα clusters. Το σύνολο των δεδομένων υπολογίζεται στις 525601 γραμμές. Παρατηρήθηκε πως υπήρχαν λεπτά, καθ' όλη την διάρκεια της καταγραφής των δεδομένων από τον μετρητή, κατά τα οποία ο μετρητής δεν έχει καταγράψει μέτρηση, με αποτέλεσμα να υπάρχουν τα λεγόμενα "gaps", τα κενά στο σύνολο των γραμμών στην βάση δεδομένων. Έτσι, στο επόμενο φύλλο του αρχείου παρουσιάζεται το σύνολο των μετρήσεων χωρίς να περιλαμβάνονται τα κενά, με αυτά να υπολογίζονται πλέον στις 515771 γραμμές που φαίνονται στην Εικόνα 3.5.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Date	Current A	Power factor A	active Power A [kW]	average active power A	ihd03A %	ihd05A %	ihd07A %	Clusters							
2	2021-10-01 00:00:00	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1							
3	2021-10-01 00:01:00	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1							
4	2021-10-01 00:02:00	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1							
5	2021-10-01 00:03:00	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1							
6	2021-10-01 00:04:00	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1							
7	2021-10-01 00:05:00	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1							
8	2021-10-01 00:06:00	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1							
9	2021-10-01 00:07:00	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1							
10	2021-10-01 00:08:00	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1							
11	2021-10-01 00:09:00	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1							
12	2021-10-01 00:10:00	0,747	0,881	0,039	0,15	34,35	28,4	17,67	1							
13	2021-10-01 00:11:00	0,745	0,88	0,039	0,149	34,24	28,48	17,69	1							
14	2021-10-01 00:12:00	0,744	0,881	0,039	0,149	33,9	28,42	17,36	1							
15	2021-10-01 00:13:00	0,742	0,881	0,039	0,149	33,93	28,57	17,7	1							
16	2021-10-01 00:14:00	0,742	0,881	0,04	0,149	33,95	28,12	17,36	1							
17	2021-10-01 00:16:00	0,74	0,881	0,04	0,149	33,93	27,82	17,69	1							
18	2021-10-01 00:17:00	0,738	0,882	0,04	0,149	33,37	28,04	17,77	1							
19	2021-10-01 00:18:00	0,736	0,881	0,041	0,149	32,98	28,05	17,25	1							
20	2021-10-01 00:19:00	0,735	0,881	0,041	0,149	33,32	27,97	17,9	1							
21	2021-10-01 00:20:00	0,735	0,881	0,042	0,149	33,05	28,13	17,67	1							
22	2021-10-01 00:21:00	0,735	0,88	0,042	0,149	33,03	28,35	18,24	1							
23	2021-10-01 00:22:00	0,732	0,88	0,041	0,149	33,41	27,67	18,11	1							
24	2021-10-01 00:23:00	0,733	0,88	0,041	0,149	33,27	28,22	18,13	1							
25	2021-10-01 00:24:00	0,732	0,88	0,041	0,148	33,42	28,03	18,36	1							
26	2021-10-01 00:25:00	0,731	0,881	0,041	0,148	33,16	27,72	17,26	1							
27	2021-10-01 00:26:00	0,73	0,882	0,04	0,148	33,06	27,87	17,66	1							

Σχήμα 3.4: Βάση δεδομένων: φύλλο δεύτερο

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Date	Current A	Power factor A	active Power A [kW]	average active power A	ihd03A %	ihd05A %	ihd07A %	Clusters							
2	2021-10-01 00:00:00	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1							
3	2021-10-01 00:01:00	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1							
4	2021-10-01 00:02:00	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1							
5	2021-10-01 00:03:00	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1							
6	2021-10-01 00:04:00	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1							
7	2021-10-01 00:05:00	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1							
8	2021-10-01 00:06:00	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1							
9	2021-10-01 00:07:00	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1							
10	2021-10-01 00:08:00	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1							
11	2021-10-01 00:09:00	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1							
12	2021-10-01 00:10:00	0,747	0,881	0,039	0,15	34,35	28,4	17,67	1							
13	2021-10-01 00:11:00	0,745	0,88	0,039	0,149	34,24	28,48	17,69	1							
14	2021-10-01 00:12:00	0,744	0,881	0,039	0,149	33,9	28,42	17,36	1							
15	2021-10-01 00:13:00	0,742	0,881	0,039	0,149	33,93	28,57	17,7	1							
16	2021-10-01 00:14:00	0,742	0,881	0,04	0,149	33,95	28,12	17,36	1							
17	2021-10-01 00:16:00	0,74	0,881	0,04	0,149	33,93	27,82	17,69	1							
18	2021-10-01 00:17:00	0,738	0,882	0,04	0,149	33,37	28,04	17,77	1							
19	2021-10-01 00:18:00	0,736	0,881	0,041	0,149	32,98	28,05	17,25	1							
20	2021-10-01 00:19:00	0,735	0,881	0,041	0,149	33,32	27,97	17,9	1							
21	2021-10-01 00:20:00	0,735	0,881	0,042	0,149	33,05	28,13	17,67	1							
22	2021-10-01 00:21:00	0,735	0,88	0,042	0,149	33,03	28,35	18,24	1							
23	2021-10-01 00:22:00	0,732	0,88	0,041	0,149	33,41	27,67	18,11	1							
24	2021-10-01 00:23:00	0,733	0,88	0,041	0,149	33,27	28,22	18,13	1							
25	2021-10-01 00:24:00	0,732	0,88	0,041	0,148	33,42	28,03	18,36	1							
26	2021-10-01 00:25:00	0,731	0,881	0,041	0,148	33,16	27,72	17,26	1							
27	2021-10-01 00:26:00	0,73	0,882	0,04	0,148	33,06	27,87	17,66	1							

Σχήμα 3.5: Βάση δεδομένων: φύλλο τρίτο

Στο τελευταίο φύλλο της βάσης δεδομένων, παρουσιάζονται 28 στήλες και 515.771 γραμμές.

Πιο ειδικά, υπάρχουν οχτώ στήλες από το προηγούμενο φύλλο εκτός από τις ημερομηνίες και την ώρα όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.6.

Σχήμα 3.6: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο

Για παράδειγμα, βασισμένοι στην Εικόνα 3.6, στην 27η σειρά παρατηρείται πως, το ρεύμα ισούται με 0,73 A, το $\cos\phi=0,882$, η άεργη ισχύς είναι 0,04VA_r, η ενεργή ισχύς είναι ίση με 0,148W. Έπειτα, η επί τοις εκατό παραμόρφωση της 3ης χαρακτηριστικής είναι 33,06%, της 5ης 27,87% και της 7ης 17,66%. Τέλος, όσον αφορά τα clusters, δηλαδή την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το δεδομένο λεπτό η γραμμή A, είναι μονάδα που σημαίνει πως στις γραμμές B και C δεν υπάρχει ισχύς μεγαλύτερη ή ίση με 30W και άρα δεν λειτουργεί κάποια από τις υπό εξέταση ηλεκτρικές συσκευές.

Επίσης υπάρχουν και στήλες που αφορούν events βασισμένα στα clusters μεταξύ 2 διαδοχικών λεπτών. Συγκεκριμένα:

-Event 21:

$$=IF(OR(AND(H3=2;H2=1);AND(H3=4;H2=3));21;0)$$

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκε σε λειτουργία η γραμμή B και η C είναι ανενεργή σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(OR(AND(H4=2;H3=1);AND(H4=4;H3=3));21;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Current	Power factor	Effective Power	Active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	Cluster	EVENT 21	EVENT 20
2	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1	0	0
3	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1	0	0
4	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1	0	0
5	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1	0	0
6	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1	0	0
7	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1	0	0
8	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1	0	0
9	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1	0	0
10	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1	0	0
11	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1	0	0
12	0,747	0,881	0,039	0,15	34,35	28,4	17,67	1	0	0
13	0,745	0,88	0,039	0,149	34,24	28,48	17,69	1	0	0
14	0,744	0,881	0,039	0,149	33,9	28,42	17,36	1	0	0
15	0,742	0,881	0,039	0,149	33,93	28,57	17,7	1	0	0
16	0,742	0,881	0,04	0,149	33,95	28,12	17,36	1	0	0
17	0,74	0,881	0,04	0,149	33,93	27,82	17,69	1	0	0
18	0,738	0,882	0,04	0,149	33,37	28,04	17,77	1	0	0

Σχήμα 3.7: Event 21

-Event 20:

=IF(OR(AND(H3=1;H2=2);AND(H3=3;H2=4));20;0)

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκε εκτός λειτουργίας η γραμμή B και η C είναι ανενεργή σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(OR(AND(H4=1;H3=2);AND(H4=3;H3=4));20;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Current	Power factor	Effective Power	Active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	Cluster	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31
2	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1	0	0	0
3	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1	0	0	0
4	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1	0	0	0
5	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1	0	0	0
6	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1	0	0	0
7	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1	0	0	0
8	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1	0	0	0
9	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1	0	0	0
10	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1	0	0	0
11	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1	0	0	0
12	0,747	0,881	0,039	0,15	34,35	28,4	17,67	1	0	0	0

Σχήμα 3.8: Event 20

-Event 31:

=IF(OR(AND(H3=3;H2=1);AND(H3=4;H2=2));31;0)

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό γραμμή B είναι ανενεργή αλλά η C τέθηκε σε λειτουργία σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(OR(AND(H4=3;H3=1);AND(H4=4;H3=2));31;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Current	Power factor	Power	Active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	Cluster	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30
2	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1	0	0	0	0
3	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1	0	0	0	0
4	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1	0	0	0	0
5	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1	0	0	0	0
6	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1	0	0	0	0
7	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1	0	0	0	0
8	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1	0	0	0	0
9	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1	0	0	0	0
10	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1	0	0	0	0
11	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1	0	0	0	0
12	0,747	0,881	0,039	0,15	34,35	28,4	17,67	1	0	0	0	0

Σχήμα 3.9: Event 31

-Event 30:

IF(OR(AND(H3=3;H2=1);AND(H3=4;H2=2));30;0)

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκε εκτός λειτουργίας η γραμμή C και η B είναι ανενεργή σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(OR(AND(H4=1;H3=3);AND(H4=2;H3=4));30;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Current	Power factor	Power	Active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	Cluster	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131
2	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1	0	0	0	0	0
3	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1	0	0	0	0	0
4	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1	0	0	0	0	0
5	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1	0	0	0	0	0
6	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1	0	0	0	0	0
7	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1	0	0	0	0	0
8	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1	0	0	0	0	0
9	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.10: Event 30

-Event 2131:

IF(OR(AND(H3=3;H2=1);AND(H3=4;H2=2));2131;0)

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκαν σε λειτουργία οι γραμμές B και C σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(AND(H4=4;H3=1);2131;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Current	Power factor	Power	Active power	ihd03A	ihd05A	ihd07A	Cluster	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131	EVENTS 2030
2	0,756	0,88	0,041	0,153	35,03	28,32	16,64	1	0	0	0	0	0	0
3	0,755	0,88	0,04	0,153	34,74	28,13	16,84	1	0	0	0	0	0	0
4	0,755	0,879	0,041	0,152	35,21	28,08	17,46	1	0	0	0	0	0	0
5	0,761	0,879	0,04	0,153	35,78	28,96	17,91	1	0	0	0	0	0	0
6	0,767	0,878	0,04	0,153	35,84	28,52	17,92	1	0	0	0	0	0	0
7	0,767	0,876	0,041	0,153	35,51	28,65	17,95	1	0	0	0	0	0	0
8	0,767	0,875	0,04	0,153	35,13	29,11	17,55	1	0	0	0	0	0	0
9	0,762	0,877	0,04	0,152	34,49	28,13	17,2	1	0	0	0	0	0	0
10	0,747	0,88	0,04	0,15	34,3	27,9	17,39	1	0	0	0	0	0	0
11	0,746	0,881	0,04	0,15	33,89	28	17,03	1	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.11: Event 2131

-Event 2030:

$\text{IF}(\text{OR}(\text{AND}(\text{H3}=3;\text{H2}=1);\text{AND}(\text{H3}=4;\text{H2}=2));2030;0)$

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκαν εκτός λειτουργίας οι γραμμές B και C σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

$\text{=IF}(\text{AND}(\text{H4}=1;\text{H3}=4);2030;0)$

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ihd05A	ihd07A	Cluste	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131	EVENTS 2030	EVENTS 3120
2	28,32	16,64	1	0	0	0	0	0	0	0
3	28,13	16,84	1	0	0	0	0	0	0	0
4	28,08	17,46	1	0	0	0	0	0	4;2030;0	0
5	28,96	17,91	1	0	0	0	0	0	0	0
6	28,52	17,92	1	0	0	0	0	0	0	0
7	28,65	17,95	1	0	0	0	0	0	0	0
8	29,11	17,55	1	0	0	0	0	0	0	0
9	28,13	17,2	1	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.12: Event 2030

-Event 3120:

$\text{IF}(\text{OR}(\text{AND}(\text{H3}=3;\text{H2}=1);\text{AND}(\text{H3}=4;\text{H2}=2));3120;0)$

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκε σε λειτουργία η γραμμή C και η B απενεργοποιήθηκε σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

$\text{=IF}(\text{AND}(\text{H4}=3;\text{H3}=2);3120;0)$

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ihd05A	ihd07A	Cluste	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131	EVENTS 2030	EVENTS 3120	EVENTS 2130
2	28,32	16,64	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	28,13	16,84	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28,08	17,46	1	0	0	0	0	0	0	2;3120;0	0
5	28,96	17,91	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	28,52	17,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	28,65	17,95	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	29,11	17,55	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	28,13	17,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	27,9	17,39	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.13: Event 3120

-Event 2130:

$\text{IF}(\text{OR}(\text{AND}(\text{H3}=3;\text{H2}=1);\text{AND}(\text{H3}=4;\text{H2}=2));2130;0)$

Όταν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο event το κελί παίρνει την τιμή 1 και αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο λεπτό τέθηκε σε λειτουργία η γραμμή B και βγήκε εκτός λειτουργίας η γραμμή C σύμφωνα με τα ορισμένα όρια των 30 Watt.

=IF(AND(H4=2;H3=3);2130;0)

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	ihd07A	Cluste	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131	EVENTS 2030	EVENTS 3120	EVENTS 2130	ALL EVENTS
2	16,64	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	16,84	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	17,46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	17,91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	17,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	17,95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	17,55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	17,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	17,39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	17,03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	17,67	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.14: Event 2130

AllEvents:

$$=I3+J3+K3+L3+M3+N3+O3+P3$$

Τέλος, η στήλη «All Events» αφορά το άθροισμα όλων των προηγούμενων στηλών και σειρών των events, υποδηλώνοντας έτσι ότι έχει συμβεί στο συγκεκριμένο λεπτό κάποιο event από τα προηγούμενα, εφόσον η τιμή του κελιού αυτού είναι ένα (1).

=I3+J3+K3+L3+M3+N3+O3+P3

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	ihd07A	Cluste	EVENT 21	EVENT 20	EVENT 31	EVENT 30	EVENTS 2131	EVENTS 2030	EVENTS 3120	EVENTS 2130	ALL EVENTS
2	16,64	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	16,84	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	17,46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	17,91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	17,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	17,95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	17,55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	17,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	17,39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	17,03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	17,67	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.15: All Events

Επιπρόσθετα στο φύλλο, παρατίθεται η μεταβολή, ανάμεσα σε δύο διαδοχικά λεπτά, του εναλλασσόμενου ρεύματος της γραμμής A, η μεταβολή, ανάμεσα σε δύο διαδοχικά λεπτά, της επί τοις εκατό αρμονική παραμόρφωση της 3ης 5ης 7ης αρμονικής του συνολικού ρεύματος. Έπειτα, ακολουθούν οι απόλυτες τιμές των προηγούμενων μεγεθών και τέλος το άθροισμα των τριών απόλυτων τιμών (Δ(ihd03A), Δ(ihd05A), Δ(ihd07A)) δηλαδή όπως φαίνονται και στις παρακάτω εικόνες 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24.

R
$\Delta(I_{rmsA})$
0
-0,001
0
0,006
0,006
0
0
-0,005
-0,015
-0,001
0,001
-0,002
-0,001
-0,002
0
-0,002
-0,002
-0,002
-0,001
0
0
-0,003
0,001
-0,001
-0,001
-0,001
-0,001
0
-0,001

Σχήμα 3.16: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(I_{rms})$

S
$\Delta(ihd03A \%)$
0
-0,29
0,47
0,57
0,06
-0,33
-0,38
-0,64
-0,19
-0,41
0,46
-0,11
-0,34
0,03

Σχήμα 3.17: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd03A)$

T
$\Delta(ihd05A \%)$
0
-0,19
-0,05
0,88
-0,44
0,13
0,46
-0,98
-0,23
0,1
0,4
0,08
-0,06
0,15
-0,45

Σχήμα 3.18: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd05A)$

U
$\Delta(ihd07A \%)$
0
0,2
0,62
0,45
0,01
0,03
-0,4
-0,35
0,19
-0,36
0,64
0,02
-0,33
0,34
-0,34

Σχήμα 3.19: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: $\Delta(ihd07A)$

W
$ \Delta(I_{rmsA}) $
0
0,001
0
0,006
0,006
0
0
0,005
0,015
0,001
0,001
0,002
0,001
0,002
0
0,002
0,002
0,002
0,001
0

Σχήμα 3.20: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(I_{rms})$.

X
$ \Delta(ihd03A\%) $
0
0,29
0,47
0,57
0,06
0,33
0,38
0,64
0,19
0,41
0,46
0,11
0,34
0,03
0,02

Σχήμα 3.21: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(ihd03A)$.

Y
$ \Delta(ihd05A\%) $
0
0,19
0,05
0,88
0,44
0,13
0,46
0,98
0,23
0,1
0,4
0,08
0,06
0,15
0,45

Σχήμα 3.22: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή $\Delta(ihd05A)$.

Z
Δ(ihd07A %)
0
0,2
0,62
0,45
0,01
0,03
0,4
0,35
0,19
0,36
0,64
0,02
0,33
0,34
0,34

Σχήμα 3.23: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: απόλυτη τιμή Δ(ihd07A).

AA
SUM
0
0,68
1,14
1,9
0,51
0,49
1,24
1,97
0,61
0,87
1,5
0,21
0,73
0,52

Σχήμα 3.24: Βάση δεδομένων: φύλλο τέταρτο: SUM

3.2 Event Detection

Σαν Event Detection, ορίζεται η ανίχνευση της μεταβολής του πλάτους ενός συγκεκριμένου ηλεκτρικού χαρακτηριστικού ανάμεσα σε δύο διαδοχικές καταγραφές μέσω της σύγκρισης του με μια προκαθορισμένη τιμή κατώτατου ορίου, που συνήθως προκύπτει από μια διαδικασία προσεγγιστική την λεγόμενη try-and-error. Στην παρούσα εργασία, δύο διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κρίθηκαν κατάλληλα για τη διευκόλυνση της ανίχνευσης συμβάντων. Οι μεταβολές των πλάτων τους συγκρίθηκαν αποκλειστικά με δύο διαφορετικές τιμές κατώτατου ορίου.

Ως αποτέλεσμα, όταν τουλάχιστον ένα από αυτά τα πλάτη μεταβλήθηκε μεταξύ δύο διαδοχικών λεπτών κατά μια τιμή μεγαλύτερη ή ίση από τα προκαθορισμένα και επιλεγμένα όρια τα οποία φαίνονται στις σχέσεις της εικόνας 3.25, θεωρείται ότι υπάρχει κάποιο event στις υπο εξέταση συσκευές. Συγκεκριμένα, το πρώτο χαρακτηριστικό ήταν η απόλυτη

τιμή της διαφοράς πλάτους του συνολικού RMS ρεύματος μεταξύ δύο διαδοχικών λεπτών και το δεύτερο ήταν η απόλυτη τιμή της διαφοράς πλάτους της επί τοις εκατό αρμονικής παραμόρφωσης του 3ου συνολικού αρμονικού ρεύματος μεταξύ δύο διαδοχικών λεπτών.

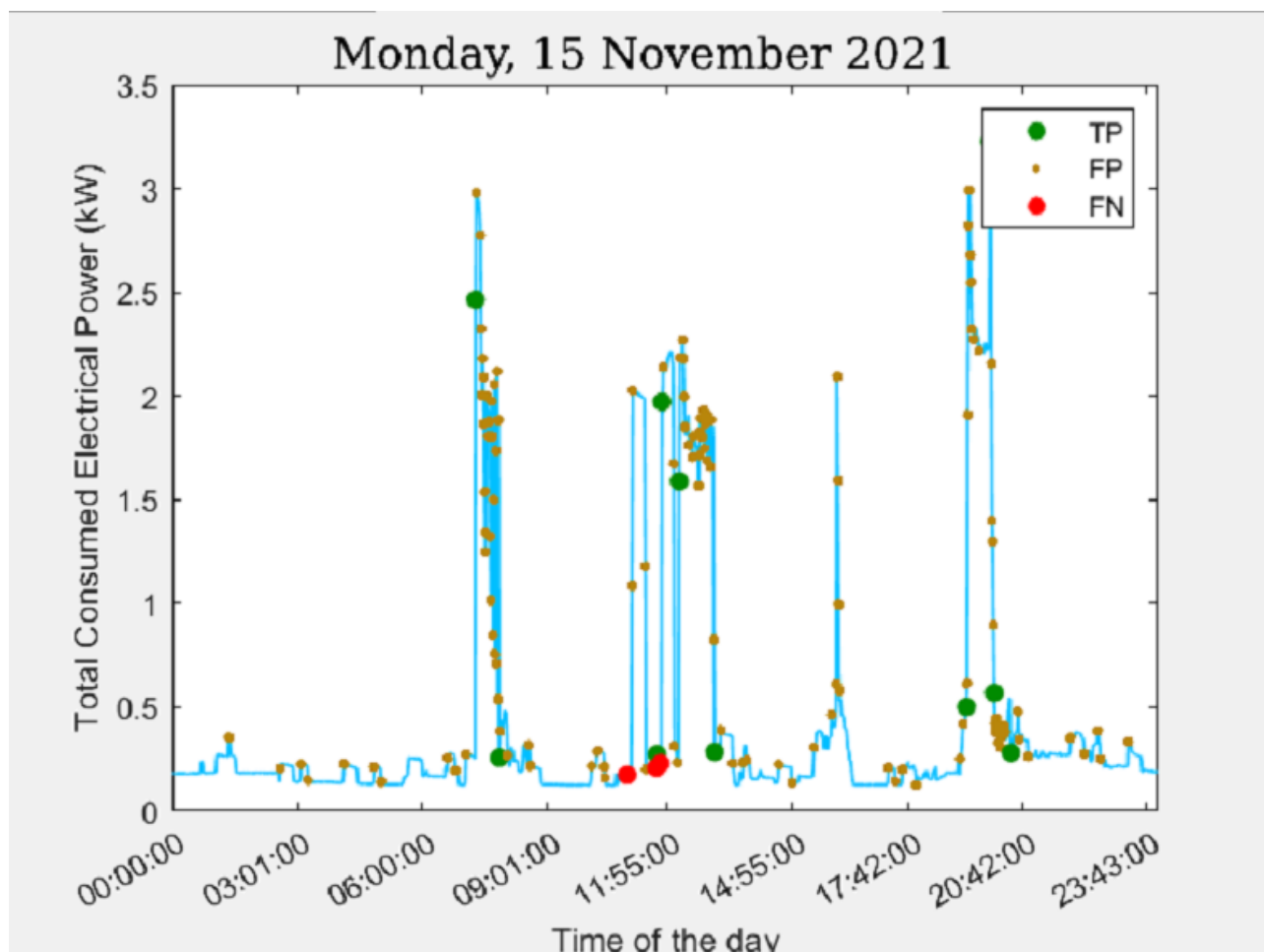
Όσον αφορά τα events που ανιχνεύουμε μέσω της εφαρμογής του περιγραφέντος αλγορίθμου με χρήση των ορίων που περιγράφονται στις σχέσεις της εικόνας 3.25, μπορούμε να τα κατατάξουμε σε τέσσερις κατηγορίες. Αυτές είναι, οι TP, TN, FP, FN. Αναλυτικά η True Positive (TP) κατηγορία είναι αυτή στην οποία συμπεριλαμβάνονται τα events φορτίου που ανιχνεύονται και όντως υπάρχουν. Η True Negative (TN) κατηγορία, είναι αυτή στην οποία δεν υπάρχουν events εκείνη την στιγμή και όντως δεν εντοπίστηκαν. False Positive (FP) event θεωρείται όταν δεν συνέβη κάποιο event αλλά ανιχνεύθηκε λανθασμένα εκείνη την στιγμή. Τέλος, στην False Negative (FN) κατηγορία κατατάσσονται τα events που δεν ανιχνεύονται αλλά υπάρχουν στην πραγματικότητα.

Εν συντομία, η διαδικασία του Event Detection στην υπό εξέταση οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση ορίζεται όταν τουλάχιστον μία από τις ανισότητες του σχήματος 3.25 είναι αληθής.

$$|\Delta(I_{rms})| \geq 0,3A$$
$$|\Delta(ihd03A)| \geq 0,3\%$$

Σχήμα 3.25: Εξεταζόμενες συνθήκες ανίχνευσης ενός event.

Προχωρώντας στην οπτικοποίηση της εφαρμογής του Event Detection στην υπό εξέταση οικιακή εγκατάσταση, μέσω των εικόνων 3.26, 3.27, 3.28 παρουσιάζονται κάποιες τυχαίες μέρες και τα αντίστοιχα events των συγκεκριμένων συσκευών που μελετάμε. Παράλληλα τα events που ανιχνεύθηκαν μέσω του αλγορίθμου κατηγοριοποιούνται και δίνεται έτσι η δυνατότητα αξιολόγησης της ορθότητας της ανίχνευσης. Η εφαρμογή του event detection έγινε στο περιβάλλον του MATLAB [14], μιας πλατφόρμας προγραμματισμού και αριθμητικών υπολογισμών.

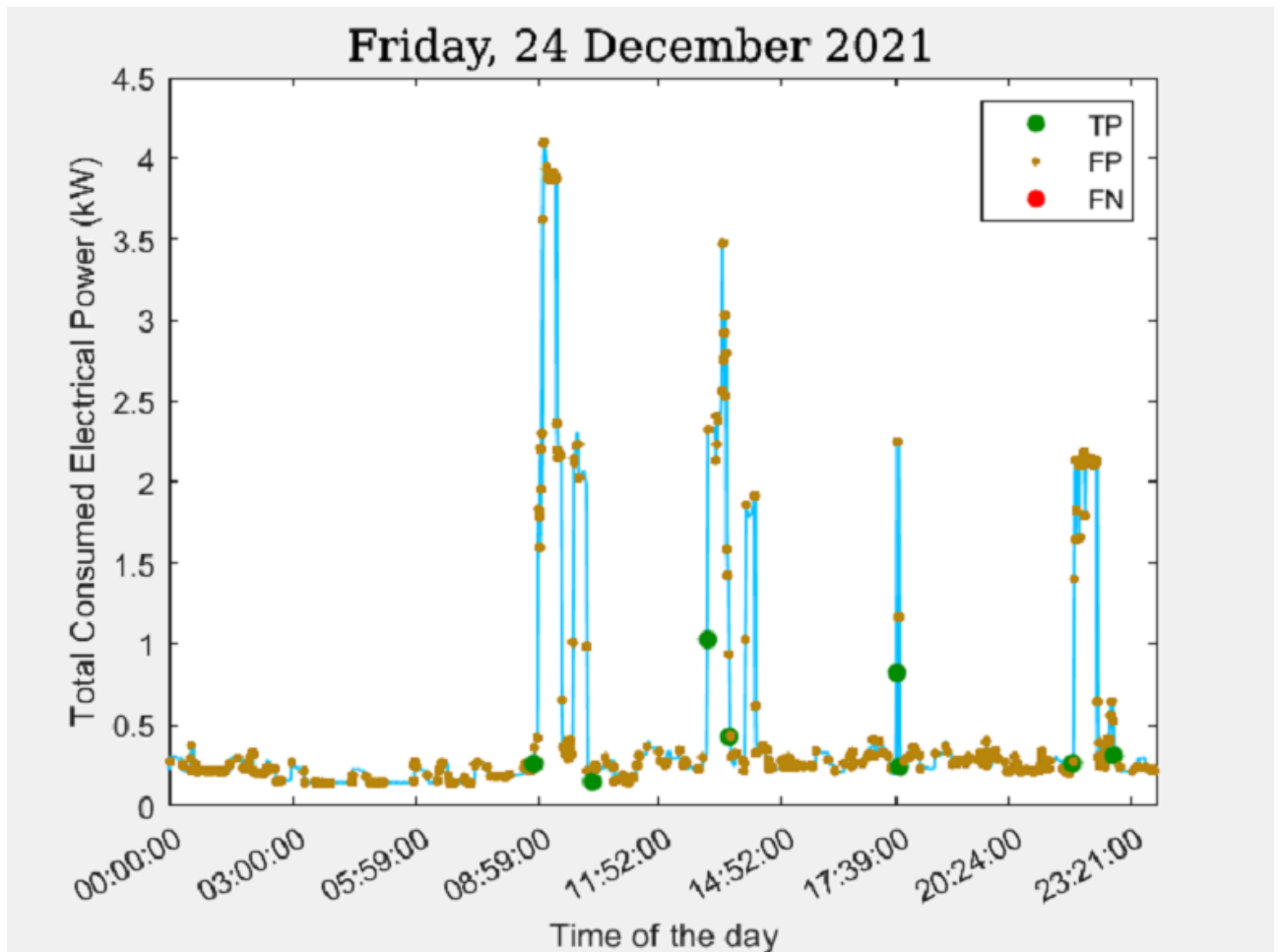


Σχήμα 3.26: Σχεδιάγραμμα events 15ης Νοεμβρίου 2021

Όπως παρουσιάζεται στο σχεδιάγραμμα 3.26, κατά τη διάρκεια της Δευτέρας 15 Νοεμβρίου 2021 παρατηρείται συχνά πως υπάρχουν False Positive events (καφέ κουκίδες στο γράφημα), δηλαδή events τα οποία δε συνέβησαν για τις υπό εξέταση συσκευές αλλά παρ' όλα αυτά ανιχνεύτηκε κάποια μεταβολή στις μετρήσεις που καταγράφηκαν. Αυτό μπορεί να σημαίνει πως ενδεχομένως συσκευές διαφορετικές από τις καθορισμένες συνδέθηκαν ή αποσυνδέθηκαν στη συγκεκριμένη ηλεκτρική εγκατάσταση.

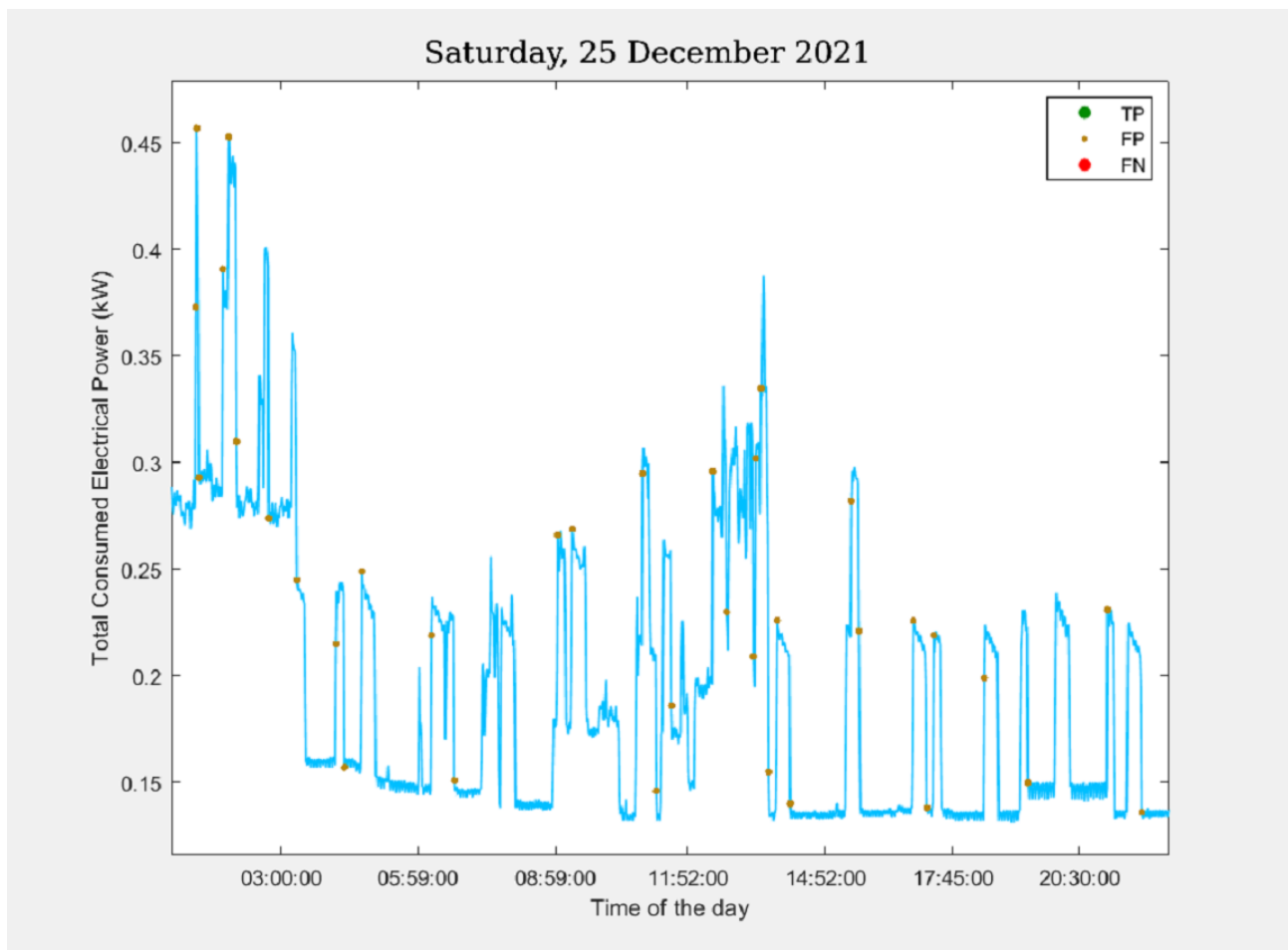
Παράλληλα, στο γράφημα εντοπίζονται κόκκινες κουκίδες δηλαδή False Negative events από τις οποίες προκύπτει πως δεν ανιχνεύτηκαν events των συγκεκριμένων συσκευών κάτι που αποτελεί αδυναμία ανίχνευσης από τον αλγόριθμο.

Τέλος όσον αφορά τις πράσινες κουκίδες δηλαδή τα True Positive events εμφανίζονται στο γράφημα εξηγώντας πως ανιχνεύτηκαν events τα οποία και επαληθεύονται.



Σχήμα 3.27: Σχεδιάγραμμα events 24ης Δεκεμβρίου 2021

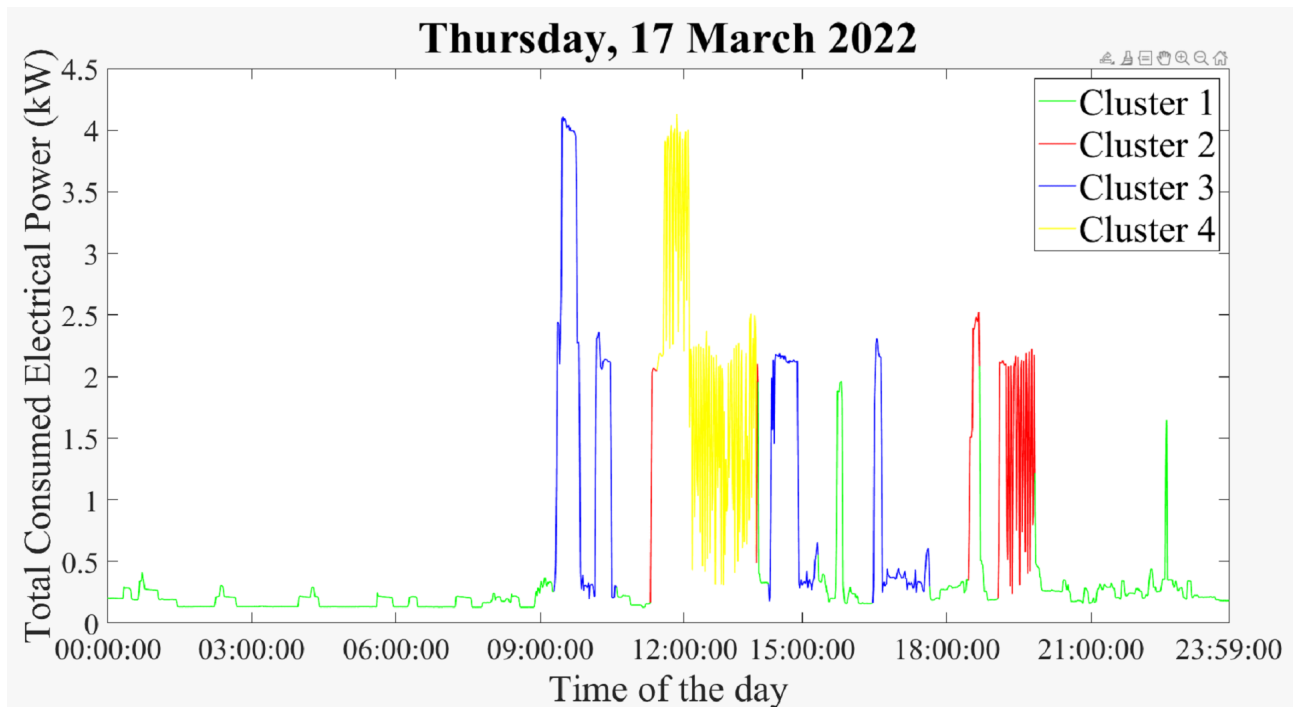
Στο γράφημα 3.27 το οποίο οπτικοποιεί τις μετρήσεις της 24ης Δεκεμβρίου 2021 εντοπίζεται πληθώρα από False Positive events, σε αντίθεση με το προηγούμενο γράφημα το οποίο αναλύθηκε, ενώ δεν υπάρχουν False Negative events κάτι που σημαίνει 100% επιτυχία του αλγόριθμου στο να μην χάσει κάποιο event από τις εν λόγω συσκευές. Επίσης ανιχνεύθηκε μεγαλύτερος αριθμός από True Positive events.



Σχήμα 3.28: Σχεδιάγραμμα events 25ης Δεκεμβρίου 2021

Παραθέτοντας το γράφημα της 25ης Δεκεμβρίου 2021 (3.28) εντοπίζεται μόνο ένας μικρός αριθμός από False Positive events σε σχέση με τα δύο προηγούμενα γραφήματα. Επίσης η συνολική κατανάλωση δε ξεπερνάει τα 0.5 kW σε καμία στιγμή της ημέρας. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι εκείνη την ημέρα η εγκατάσταση ήταν σε κατάσταση αδράνειας δηλαδή οι ένοικοι απουσίαζαν από το σπίτι κάτι που όντως ισχύει. Με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται η δυνατότητα που προσφέρει ο αλγόριθμος του Event Detection για εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με τις συνήθειες και την καταναλωτική συμπεριφορά των ενοίκων.

Το συμπέρασμα που προκύπτει έπειτα από την ανάλυση των τριών ημερήσιων γραφημάτων είναι πως κατά κύριο λόγο η μέγιστη κατανάλωση της εγκατάστασης δε ξεπερνάει τα 5 kW ανά λεπτό ενώ η εγκατάσταση σε κατάσταση αδράνειας έχει κατά προσέγγιση κατανάλωση μεταξύ 0.10 kW και 0.40 kW.



Σχήμα 3.29: Σχεδιάγραμμα clusters 17ης Μαρτίου 2022

Στο σχήμα 3.29, το οποίο αφορά μετρήσεις των τεσσάρων clusters την ημέρα Πέμπτη, 17 Μαρτίου 2022 παρουσιάζονται τέσσερις κατηγορίες (clusters) κατανάλωσης. Όπου υπάρχει πράσινο χρώμα, η κατανάλωση των γραμμών B και C είναι κάτω από 30 W. Με κόκκινο χρώμα, η κατανάλωση της γραμμής B είναι πάνω από το όριο των 30 W ενώ η γραμμή C είναι κάτω από 30 W. Με μπλε χρώμα, η κατανάλωση της γραμμής C είναι πάνω από το όριο των 30 W ενώ η γραμμή B είναι κάτω από 30 W. Τέλος όπου υπάρχει κίτρινο χρώμα, η κατανάλωση και των δύο γραμμών ταυτόχρονα είναι πάνω από 30 W. Στη γραμμή B, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, βρίσκεται η συσκευή της κουζίνας ενώ στη γραμμή C βρίσκεται το πλυντήριο πιάτων και το πλυντήριο ρούχων, άρα είναι αντιληπτό πως οι συγκεκριμένες υπό εξέταση συσκευές είναι και οι πλέον ενεργητικές στην συγκεκριμένη ηλεκτρική εγκατάσταση και άρα πολύ σημαντική η εφαρμογή του αλγορίθμου event detection για την ανίχνευση λειτουργίας τους.

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

4.1 Σύνοψη

Μέσα από αυτήν την εργασία, αναπτύχθηκε ένα σύστημα για event detection στο σπίτι χρησιμοποιώντας έναν έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ακρίβεια του συστήματος είναι υψηλή και μπορεί να ανιχνεύσει με ακρίβεια τα γεγονότα του σπιτιού, όπως η χρήση συσκευών, οι αλλαγές στις καταναλώσεις ενέργειας και η αλλαγή στις συνήθειες των κατοίκων. Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση της διάρκειας των δεδομένων στην ακρίβεια του συστήματος, και αναδείχθηκε ότι η χρήση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων βελτιώνει την ακρίβεια του event detection. Αυτό το σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε έξυπνα σπίτια, για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βελτίωση της ευκολίας χρήσης των συσκευών στο σπίτι. Επίσης δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, η πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας για μελλοντικά χρονικά διαστήματα και η προσαρμογή του συστήματος ελέγχου του σπιτιού σε πραγματικό χρόνο, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, η χρήση έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στην αειφορία, καθώς η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας συμβάλλει στη μείωση των ρύπων και τη διατήρηση των φυσικών πόρων.

4.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Μελλοντικές επεκτάσεις για αυτή τη διπλωματική εργασία μπορούν να περιλαμβάνουν την επέκταση της μεθοδολογίας του event detection για να καλύπτει περισσότερα είδη γεγονότων και περισσότερες κατηγορίες φορτίου. Μπορεί επίσης να επικεντρωθεί στη βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου του event detection και στην ανάπτυξη πιο προηγμένων μεθόδων μηχανικής μάθησης που θα μπορούν να αναγνωρίζουν πιο σύνθετα γεγονότα. Επίσης με εκτενέστερη μελέτη και δοκιμές να περιοριστούν τα False Positive events που ενδεχομένως θα προκύπτουν. Επιπλέον, μια μελλοντική πιθανή επέκταση είναι να αξιοποιηθεί η πλατφόρμα για περισσότερο εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως η αυτόματη ανίχνευση βλαβών σε ηλεκτρικά κυκλώματα ή η αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας σε μεγάλες κατοικίες και κτίρια.

Βιβλιογραφία

- [1] K. Ashton *et al.*, «That ‘internet of things’ thing», *RFID journal*, vol. 22, no. 7, pp. 97–114, 2009.
- [2] F. Benzi, N. Anglani, E. Bassi, and L. Frosini, «Electricity smart meters interfacing the households», *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 10, pp. 4487–4494, 2011.
- [3] M. Kersten and T. Piersma, «High levels of energy expenditure in shorebirds: Metabolic adaptations to an energetically expensive way of life», *Ardea*, vol. 75, no. 2, pp. 175–187, 1987.
- [4] V. Guralnik and J. Srivastava, «Event detection from time series data», in *Proceedings of the fifth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 1999, pp. 33–42.
- [5] U. Bakar, H. Ghayvat, S. Hasanm, and S. C. Mukhopadhyay, «Activity and anomaly detection in smart home: A survey», *Next Generation Sensors and Systems*, pp. 191–220, 2016.
- [6] B. L. R. Stojkoska and K. V. Trivodaliev, «A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions», *Journal of cleaner production*, vol. 140, pp. 1454–1464, 2017.
- [7] E. D. Coyle and R. A. Simmons, *Understanding the global energy crisis*. Purdue University Press, 2014.
- [8] S. Fleck and W. Straßer, «Smart camera based monitoring system and its application to assisted living», *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 10, pp. 1698–1714, 2008.
- [9] T. M. Fernández-Caramés, «An intelligent power outlet system for the smart home of the internet of things», *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 11, p. 214805, 2015.
- [10] V. Kepuska and G. Bohouta, «Next-generation of virtual personal assistants (microsoft cortana, apple siri, amazon alexa and google home)», in *2018 IEEE 8th annual computing and communication workshop and conference (CCWC)*, IEEE, 2018, pp. 99–103.
- [11] R. Y. M. Li, H. Li, C. Mak, and T. Tang, «Sustainable smart home and home automation: Big data analytics approach», *International Journal of Smart Home*, vol. 10, no. 8, pp. 177–187, 2016.
- [12] D. Bregman and A. Korman, «A universal implementation model for the smart home», *International Journal of Smart Home*, vol. 3, no. 3, pp. 15–30, 2009.
- [13] T. M. Mitchell *et al.*, *Machine learning*. McGraw-hill New York, 2007, vol. 1.

[14] S. Matlab, «Matlab», *The MathWorks, Natick, MA*, 2012.